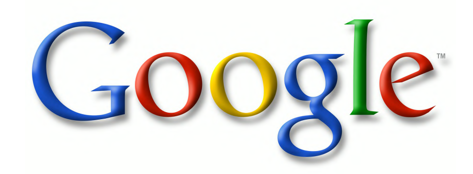

Google


UC-NRLF
B 4 252 962



SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

DE GENÈVE.

ARCHIVES

DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,

Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

No 17. (Tome V. — 1845.)

Publié le 8 juillet 1845.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,

AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

CHEZ B. GLASER,

Rue de la Pélisserie, *n°* 133.

PARIS,

CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,

Rue Dauphine, n. 36.

1845

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraissent tous les deux mois; les six cahiers bimestriels forment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pages environ, même format et caractère que la Bibliothèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l'année 1845) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs.
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Pour Genève et la Suisse, au BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE, chez B. GLASER, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.
Pour Paris et la France, chez ANSELIN, successeur de MAGIMEL, rue Dauphine, n° 36, à Paris.
Pour Turin et le Piémont, chez BOCCA, libraire, à Turin.
Pour Milan et le R° Lombard-Vénitien, chez DUMOLARD, à Milan.
Pour Rome et les Ét. Rom., chez CAPOBIANCHI, employé des Postes, à Rome.
Pour le reste de l'Italie, chez PIATTI, libraire, à Florence.
Pour la Hollande, chez DELACHAUX, libraire, à Amsterdam.
Pour l'Allemagne et le Nord, chez MICHELSEN, libraire, à Leipsick.
Pour la Grande-Bretagne, chez BAILLIÈRE, à Londres.

ARCHIVES

DE

L'ÉLECTRICITÉ.

Imprimerie de Ferd. Ramboz, rue de l'Hôtel-de-Ville, n. 78.



ARCHIVES

DE

L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. DE LA RIVE,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE DE GENÈVE.

Tome V. — Année 1845.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,

AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
CHEZ B. GLASER,
Rue de la Pélisserie, n° 133.

PARIS,

CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,
Rue Dauphine, n. 36.

1845

ARCHIVES DE L'ÉLECTRICITÉ.

SUR LA NATURE ET LA PRODUCTION DE L'OZÔNE, par Mr. le professeur C. Marignac [1].

L'attention des chimistes et des physiciens a été excitée à un haut degré par les phénomènes remarquables dont l'étude a été faite par Mr. Schœnbein. L'intérêt qu'inspirent les propriétés curieuses de l'ozône, a été augmenté encore par l'ingénieuse hypothèse à l'aide de laquelle le savant professeur de Bâle a cru pouvoir expliquer ces propriétés. Toutefois les chimistes ne pouvaient pas facilement adopter une théorie qui renversait toutes leurs doctrines sur la nature simple de l'azote, sans s'appuyer sur des preuves entièrement convaincantes. C'est dans le but de chercher à jeter quelque lumière sur cette question, que j'ai entrepris les expériences suivantes. Je les rapporterai toutes dans l'ordre où je les ai entreprises. Plusieurs d'entre elles n'offrent qu'une vérification des faits annoncés par Mr. Schœnbein; plusieurs aussi deviennent superflues par

[1] Ayant communiqué à Mr. Schœnbein les résultats de quelques-unes des expériences qui sont rapportées dans cette notice, ce savant m'a répondu que depuis quelque temps il avait lui-même conçu quelques soupçons sûr l'exactitude de l'hypothèse qu'il avait avancée. Du reste on trouvera à la suite de cette notice, une note de Mr. Schœnbein, dans laquelle il rapporte quelques-unes de ses observations, et propose une nouvelle explication. Mais celle-ci semble aussi contredite par quelques faits consignés à la fin de ma notice, et dont je n'avais pas encore connaissance au moment où j'écrivis à Mr. Schœnbein. (C. M.)

suite d'expériences subséquentes, plus convaincantes que les premières ; mais ce sujet me paraît assez intéressant pour qu'on ne néglige aucun des faits qui s'y rapportent.

1° La production de l'ozône, lors de la décomposition par la pile de l'eau chargée d'acide sulfurique, est indépendante de la présence de l'azote. En effet, quels que soient les moyens de purification que j'aie employés pour obtenir un liquide parfaitement exempt de tout composé azoté ; quelques précautions que j'aie prises pour chasser complétement l'air de ce liquide, sa décomposition par la pile a toujours donné lieu à la production de l'ozône. L'expérience se faisait dans un appareil tenant exactement le vide, où aucune trace d'air ne pouvait rentrer ; et après avoir marché plusieurs jours, lorsque le quart environ de l'eau avait été décomposé et chassé à l'état de gaz, l'odeur de l'ozône était exactement la même qu'au premier instant, lorsque le courant voltaïque avait la même intensité. Il faut seulement avoir soin de maintenir à une basse température le flacon dans lequel s'opère la décomposition ; car, comme Mr. de la Rive l'a montré depuis longtemps, l'odeur d'ozône disparaît lorsque l'eau s'échauffe.

2° En faisant bouillir le peroxide de plomb avec de l'acide sulfurique étendu d'eau, j'ai observé la plupart des phénomènes indiqués par Mr. Schœnbein, avec cette différence toutefois que l'odeur qu'il attribue à de l'ozône m'a paru être celle de l'acide nitreux, ce qui m'a semblé confirmé par l'action que le gaz exerçait sur le papier de tournesol qui était rougi et non décoloré. La production de cet acide nitreux s'interrompait dès qu'on cessait d'injecter de l'air dans le mélange en ébullition.

En opérant de la même manière avec un mélange d'acide sulfurique et de bichromate de potasse, je n'ai obtenu aucune odeur.

3° Le moyen qui m'a paru le plus commode pour obtenir l'ozône consiste à diriger un courant d'air, au moyen d'un ga-

zomètre, au travers d'un tube de 1 mètre de long et de 6 millimètres de diamètre, renfermant dans sa longueur une série de bâtons de phosphore.

C'est au moyen de cet appareil qu'ont été faites les expériences suivantes sur les circonstances dans lesquelles se produit l'ozône, et sur les propriétés de l'air qui en est chargé.

4° L'air parfaitement sec ne produit pas d'ozône ; le phosphore se recouvre d'une croûte blanche, probablement d'acide phosphorique ; le gaz a une odeur simplement phosphoreuse, et reste sans action sur l'amidon mêlé d'iodure de potassium.

5° L'air, complétement désoxigéné par son passage sur du cuivre chauffé au rouge, ne produit pas d'ozône avec le phosphore. Dès que tout le cuivre est oxidé, l'odeur d'ozône se manifeste, et, bien que l'air ne renferme que très-peu d'oxigène, de telle sorte qu'un corps enflammé s'y éteint à l'instant, la formation de l'ozône paraît aussi abondante qu'avec l'air ordinaire.

6° L'oxigène pur ne produit pas d'ozône ; le gaz n'a que l'odeur du phosphore ; il est sans action sur l'amidon mêlé d'iodure.

7° L'azote obtenu par l'ébullition du nitrite de potasse avec le chlorhydrate d'ammoniaque ne produit pas d'ozône. Un mélange artificiel de 1 partie d'oxigène et de 4 parties d'azote donne lieu à la production de l'ozône, comme l'air atmosphérique.

8° Une trace d'acide nitreux, à peine sensible à l'odorat, répandue dans l'air, empêche complétement la production de l'ozône. Le papier bleu de tournesol rougit alors, à cause de la présence de l'acide nitreux, mais ne se décolore pas.

9° L'acide carbonique pur, passant sur le phosphore, ne produit point d'ozône. Mais un mélange de 1 partie d'oxigène avec 3 ou 4 parties d'acide carbonique donne lieu à la production de ce corps, comme le mélange d'oxigène et d'azote ; toutefois la production m'a paru moins abondante.

Si, après avoir constaté l'efficacité du mélange gazeux, on en soustrait l'acide carbonique par la potasse, l'ozône cesse de se produire.

10° L'hydrogène seul ne produit pas d'ozône. Mais, dès qu'on y mélange une petite quantité d'oxigène, le gaz, en passant sur le phosphòre, produit d'épaisses fumées; une très-forte odeur d'ozône se manifeste, l'amidon mêlé d'iodure est bleui instantanément. La production de l'ozône par ce mélange d'hydrogène et d'oxigène m'a paru bien plus abondante qu'avec l'air atmosphérique. Mais l'abondance des fumées et l'échauffement du phosphore me faisant craindre qu'il ne s'enflammât et ne déterminât l'explosion du mélange gazeux, je n'ai pas poussé plus loin l'étude de ce procédé.

11° L'air ozonisé, qu'il soit humide ou parfaitement sec, perd entièrement son odeur et ses propriétés particulières en passant au travers d'un tube chauffé à une température de 300 ou 400 degrés.

12° L'ozône ne paraît subir aucune absorption ni altération de la part de l'eau, de l'acide sulfurique concentré, du chlorure de calcium, de l'ammoniaque et de l'eau de baryte.

13° L'ozône est absorbé avec la plus grande facilité par une dissolution d'iodure de potassium; bientôt la liqueur jaunit, une portion de l'iode est mise en liberté et entraînée par le courant d'air. Lorsque tout l'iodure est décomposé, la liqueur redevient incolore, et l'odeur d'ozône reparaît.

Il m'a fallu ainsi un mois pour décomposer entièrement la dissolution de 2 grammes d'iodure; l'appareil marchait continuellement, jour et nuit, le gazomètre faisant circuler 100 à 120 litres d'air par 24 heures. Au bout de ce temps la liqueur était redevenue incolore, elle ne renfermait plus du tout d'iodure; il m'a été impossible d'y reconnaître autre chose qu'un mélange d'iodate et de carbonate de potasse.

14° L'ozône est facilement absorbé par les métaux. Ainsi, en faisant passer l'air ozonisé au travers d'un petit tube de 10

à 12 centimètres de longueur, rempli d'argent pur et poreux, tel qu'on l'obtient par la calcination et le grillage de l'acétate, cet air perd complétement son odeur et ses propriétés, et l'argent se transforme en une matière d'un brun noir. Mais la présence de l'humidité est indispensable ; si l'air ozonisé est complétement desséché par son passage au travers de plusieurs tubes remplis de ponce sulfurique, il ne cède rien à l'argent, ni au cuivre, ni même au zinc ; l'odeur d'ozône ne disparaît plus.

Si l'air ozonisé arrive sur l'argent sans être desséché, mais seulement débarrassé des acides du phosphore par son passage au travers de tubes remplis de ponce ou d'amiante imbibée d'eau, l'argent se transforme en une matière noire, qui, par la dessiccation dans le vide, prend une couleur brun olive. Cette substance, introduite dans un tube de verre et chauffée au rouge, reproduit de l'argent métallique, en dégageant un gaz incolore, inodore, qui a tous les caractères de l'oxigène pur.

Si, avant que d'arriver sur l'argent, l'air ozonisé n'est qu'imparfaitement desséché par son passage au travers de l'acide sulfurique, l'ozône peut encore être absorbé par l'argent. Mais celui-ci se transforme en une matière brune qui semble être un peroxide d'argent ; en effet, cette substance, mise en contact avec de l'eau, produit une vive effervescence en dégageant de l'oxigène, après quoi le résidu présente tous les caractères de l'oxide d'argent ordinaire.

Toutes les expériences précédentes prouvent suffisamment que l'azote n'est pour rien dans la production de l'ozône, mais elles ne conduisent encore à aucune notion rigoureuse sur la nature de ce corps. Toutefois elles ne permettent à cet égard que deux hypothèses : ou l'ozône n'est qu'une modification particulière de l'oxigène, par suite de laquelle ce gaz acquiert la propriété de se combiner avec des corps sur lesquels il est sans action dans son état ordinaire, ou c'est un composé nouveau d'oxigène et d'hydrogène, susceptible de se transformer

avec la plus grande facilité en oxigène et en eau, et capable de céder son oxigène à un grand nombre de corps, par exemple aux métaux nobles.

Il était difficile de décider, par l'analyse, laquelle de ces deux suppositions était fondée, et j'étais près d'abandonner ce sujet lorsque Mr. de la Rive me proposa de tenter avec lui quelques essais sur la production de l'ozône par les décharges de la machine électrique. Ce sont les résultats des expériences que nous avons faites ensemble que je vais rapporter maintenant.

L'appareil dont nous nous servions se composait d'un tube de verre de 6 pouces de long et d'un demi-pouce de diamètre, communiquant d'un côté avec les appareils destinés à produire les courants de gaz dont nous voulions étudier l'effet, de l'autre avec un flacon dans lequel on pouvait examiner les propriétés qu'avaient acquises ces gaz sous l'influence des décharges électriques. Du reste, pour apprécier la formation de l'ozône, nous nous bornions à reconnaître l'odeur du gaz et son action sur le papier imprégné de colle d'amidon mélangée d'iodure de potassium. Deux fils de platine pénétraient par les deux extrémités du tube de verre, et se terminaient dans son intérieur à 4 ou 5 lignes l'un de l'autre. L'un de ces fils était mis en communication avec le sol, l'autre avec le conducteur de la machine. Voici les principaux résultats obtenus avec cette disposition.

1° Quand l'air est soumis à une série de décharges électriques (peu importe que la décharge se fasse par une succession d'étincelles ou par un courant continu et invisible), l'ozône se développe, sans que la présence de la vapeur d'eau soit nécessaire. L'expérience réussit, en effet, également avec de l'air qui a traversé plusieurs tubes remplis de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique.

2° Dans l'acide carbonique pur, sec ou humide, il ne se forme point d'ozône; mais si l'on y mélange une très-petite quantité d'air ou d'oxigène, aussitôt l'ozône prend naissance.

3° Enfin, l'ozône se développe avec la plus grande facilité dans l'oxigène parfaitement pur et sec, tel qu'on l'obtient par le chlorate de potasse purifié et préalablement fondu.

Il nous semble résulter évidemment de ces faits que l'oxigène est susceptible, dans certaines circonstances, de subir une modification particulière qui exalte ses affinités chimiques, et le rend apte à se combiner directement avec des corps sur lesquels il est sans action dans son état ordinaire. L'ozône n'est pas autre chose que l'oxigène dans cet état particulier d'activité chimique, qui lui est imprimé par l'influence d'un courant électrique. Il est probable, en effet, que l'action du phosphore sur l'air est due au dégagement d'électricité qui ne peut manquer d'avoir lieu pendant la combustion lente de ce corps. On pourrait comparer l'oxigène ainsi modifié par une action électrique au chlore tithonisé de Mr. Draper, autre exemple d'une exaltation particulière dans les affinités chimiques d'un corps simple, produite également sous l'influence d'un agent physique, la lumière.

SUR LA NATURE DE L'OZÔNE, par C.-F. SCHŒNBEIN.

Je commence par déclarer que je me réserve de donner ultérieurement de plus grands détails sur le sujet dont il s'agit; pour le moment je me bornerai à un exposé sommaire des résultats auxquels m'ont conduit des expériences toutes récentes, que j'avais entreprises dans le but d'étudier avec soin la nature chimique de l'ozône et son origine.

Après avoir échoué dans mes nombreuses et pénibles tentatives pour isoler l'ozône par voie chimique, et n'avoir pu obtenir que des effets d'oxidation, je suis revenu à l'idée que j'a-

vais émise, il y a déjà cinq ans, sur la nature de l'ozône, et d'après laquelle cette substance odorante me paraissait devoir être regardée comme un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène. Dans mon premier Mémoire relatif à l'odeur particulière qui se dégage par les pointes électriques, pendant l'émission de l'électricité ordinaire, et, sur l'électrode positif, pendant l'électrolysation de l'eau, j'ai mentionné les faits suivants :

1. Que des pointes chauffées d'où l'électricité s'échappe ne dégagent pas l'odeur électrique, et que l'aigrette qui part de ces pointes ne peut pas développer la polarité négative dans une lame de platine qu'on expose à son influence.

2. Que les lames de platine chauffées jusqu'à une certaine température ne prennent pas la polarité négative quand on les expose à l'action d'une aigrette électrique, lors même que cette aigrette s'échappe d'une pointe froide.

3. Que le courant voltaïque ne peut point dégager d'ozône dans l'électrolysation de l'eau chauffée.

4. Que des lames de platine chauffées ne prennent pas la polarité négative quand on les plonge dans de l'oxigène qui renferme de l'ozône.

5. Que l'oxigène chargé d'ozône perd son odeur électrique quand on y plonge à plusieurs reprises du platine chauffé.

Partant de l'hypothèse que l'ozône n'est pas un corps simple, mais un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène, j'ai dû croire que les expériences que je viens de rapporter pouvaient s'expliquer simplement par une décomposition de l'ozône, opérée par la chaleur. Les trois espèces d'ozône, électrique, voltaïque et chimique, étant identiques à n'en pas douter, il est évident que la chaleur doit agir de la même manière sur toutes trois; que, si l'ozône est réellement un corps composé, il pourra être décomposé par la chaleur à une température déterminée, et que cette décomposition aura lieu dans l'eau et dans l'oxigène, s'il est vrai que le principe odorant soit formé d'oxigène et d'hydrogène.

Dans le but d'examiner l'influence de la chaleur sur l'ozône chimique, j'ai chargé d'ozône, par le procédé ordinaire, l'air renfermé dans un grand flacon, et j'ai disposé un appareil au moyen duquel je pouvais faire écouler ce mélange dans l'atmosphère à travers un tube de verre étroit. Tant que ce tube n'était pas chauffé, l'air qui s'en échappait répandait une odeur qu'on ne pouvait absolument pas distinguer de celle qui se développe dans le voisinage des pointes électriques; en outre, cet air produisait toutes les réactions qui sont propres à l'ozône chimique et à l'aigrette électrique, telles que la polarisation négative du platine, le bleuissement de la colle d'iodure de potassium, etc. Mais si on chauffait jusqu'à un certain degré le tube en question sur une longueur d'un pouce environ, l'odeur particulière disparaissait subitement et d'une manière complète, et alors l'air qui s'échappait n'était plus lui-même capable de bleuir la colle d'iodure de potassium, ni de produire aucune autre réaction propre à l'ozône; ce corps paraissait être détruit. Faisait-on ensuite refroidir le tube, l'air qui en sortait reprenait son odeur particulière, et avec elle toutes ses propriétés chimiques et voltaïques ordinaires. — Il va sans dire que l'oxigène chargé d'ozône qui se dégage pendant l'électrolysation de l'eau, se comporte exactement comme l'air ozonisé par voie chimique.

Ces faits font comprendre pourquoi il ne peut point se dégager d'ozône dans le voisinage des pointes électriques chauffées, ni (par l'effet d'un courant voltaïque) dans de l'eau chauffée. Cette substance odorante ne peut conserver sa nature sous l'influence d'une température élevée; elle ne peut par conséquent pas non plus se former dans des circonstances qui occasionneraient sa destruction.

Si la manière la plus facile d'expliquer la disparition de l'ozône à une température élevée consiste bien à admettre que ce corps est une substance composée qui se décompose à une certaine température, il se pourrait pourtant toujours que l'ozône, ainsi que le fluor, se combinât avec une des parties

constituantes du vase ou du tube d'émission. Mais les faits dont il va être question rendent cette hypothèse extrêmement invraisemblable.

Partant toujours de l'hypothèse que l'ozône pourrait être un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène, j'ai cherché à connaître le rôle que joue l'eau dans la formation de l'ozône chimique, et voici les résultats auxquels mes recherches m'ont conduit.

Quand j'ai mis en contact de l'eau à 30° C. avec du phosphore et de l'air atmosphérique, de façon que le contact immédiat du phosphore avec les deux autres substances se fît dans le même instant, l'ozône s'est dégagé en plus grande abondance que par aucun autre procédé à moi connu. En peu de minutes l'air renfermé dans un grand flacon peut se charger d'ozône au point de donner lieu aux plus fortes réactions chimiques. Si le phosphore était mis en contact avec de l'air ordinaire, la production de l'ozône se faisait d'une manière sensiblement plus lente que dans le cas précédent, et d'autant plus lente qu'on enlevait davantage à l'air son humidité, en sorte que de l'air au point le plus sec présentait à peine des traces de cette substance odorante, bien que toutes les autres circonstances restassent les mêmes. A cette occasion, je dois faire observer qu'il y a toujours une relation directe entre la vivacité de la lumière que donne le phosphore dans l'obscurité et l'énergie de la production de l'ozône, et que toutes les circonstances qui affaiblissent ou détruisent le premier de ces phénomènes, gênent ou arrêtent complétement l'apparition du dernier, Aussi le phosphore perd-il presque totalement sa phosphorescence dans de l'air sec.

Ces faits démontrent que l'eau qui se trouve mélangée à l'air atmosphérique exerce une influence très-favorable à la production de l'ozône. Mais cela pourrait être dû à ce que l'eau enlève l'acide qui se forme autour du phosphore, et maintient ainsi toujours ce corps en contact immédiat avec l'air ambiant.

En d'autres termes, il se pourrait que l'eau n'entrât pas dans la composition de l'ozône, qu'elle ne jouât qu'un rôle secondaire dans sa formation, et que les parties constituantes de l'air fussent la source unique de l'ozône.

D'après l'hypothèse que j'ai exposée dans mon écrit sur l'ozône, l'azote devant servir de véhicule à ce corps, j'ai voulu examiner si l'on peut remplacer l'azote par un autre gaz, et, malgré cela, obtenir un dégagement d'ozône, toutes les circonstances étant supposées d'ailleurs les mêmes que précédemment. A cet effet, j'ai introduit du phosphore et de l'eau à 30° C., dans un mélange formé d'un volume d'oxigène et de quatre volumes d'acide carbonique, et de façon que, comme précédemment, le phosphore entrât dans le même instant en contact avec le mélange gazeux et avec l'eau. J'ai observé alors que la production de l'ozône a lieu avec autant d'activité que dans l'air ordinaire, et qu'elle se ralentit à mesure qu'on diminue la proportion d'eau renfermée dans le mélange gazeux. Il est possible, à la vérité, que ce dernier contînt encore des traces d'azote, quoique l'oxigène et l'acide carbonique eussent été préparés avec soin, et l'on pourrait alors attribuer à cette circonstance la production d'ozône qui a été observée. Mais, comme la proportion d'azote renfermée dans le mélange gazeux ne pouvait être en tout cas qu'un minimum, il n'aurait dû s'y développer non plus qu'une quantité correspondante d'ozône. Or, ainsi que je l'ai déjà dit, la production de l'ozône a été aussi abondante que si le mélange gazeux eût été composé d'un volume d'oxigène et de quatre volumes d'azote.

On devrait donc pouvoir conclure en toute certitude de ce fait, que l'azote n'entre pour rien immédiatement dans la production de l'ozône. Mais, tout en reconnaissant l'exactitude de ce raisonnement, tout en admettant comme conséquence nécessaire qu'il en est de l'acide carbonique comme de l'azote, on ne peut s'empêcher de chercher la source de l'ozône dans l'oxigène même. Or en ce qui concerne ce gaz, il porte telle-

ment le caractère d'un corps simple, qu'on ne peut que regarder comme très-invraisemblable l'hypothèse contraire. Les faits mentionnés ci-dessus ayant démontré, d'un côté, que la présence de l'eau est absolument indispensable pour la production de l'ozône, et de l'autre, que l'ozône ne se produit jamais là où il n'y a pas d'oxigène libre, on ne peut se rendre compte de la formation de la substance odorante qu'en supposant que, dans certaines circonstances, l'oxigène et l'eau se combinent d'une manière particulière, et que c'est cette combinaison qui constitue l'ozône.

Cette hypothèse paraît avoir acquis le rang de certitude, grâce aux beaux résultats qui ont été obtenus par Mr. le professeur Marignac de Genève, et qu'il a eu l'obligeance de me faire connaître il y a peu de jours. Relativement au rôle que l'acide carbonique, l'azote et l'oxigène jouent dans la production de l'ozône, il y a accord complet entre les résultats obtenus par l'excellent chimiste genevois et les miens. Mr. Marignac a trouvé, ainsi que moi, que l'oxigène seul, l'azote ou l'acide carbonique, sous l'influence du phosphore, ne peuvent point donner naissance à l'ozône, mais que, pour que ce corps se produise, il faut toujours de l'oxigène libre mélangé avec l'un ou l'autre de ces gaz ; il a, de plus, établi que, dans ce phénomène, l'hydrogène peut prendre aussi la place de l'azote. En faisant agir des volumes considérables d'air ozonisé sur de l'argent à l'état de grande division, et par conséquent doué d'une grande force d'absorption pour l'ozône, il n'a obtenu que de l'oxide d'argent; et avec de l'iodure de potassium soumis au même traitement, il n'a obtenu que de l'iodate de potasse et une petite quantité de carbonate de potasse avec de l'iode libre. Tous ces faits s'expliquent de la manière la plus satisfaisante, si on suppose que l'ozône est un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène, et qu'il doit sa naissance à une combinaison d'oxigène avec de l'eau.

Mais ce qui me paraît décider complétement la question,

c'est une expérience que Mr. de la Rive a faite en commun avec Mr. Marignac, et que Mr. Melly a répétée avec le même résultat. Ces Messieurs ont fait passer le courant d'une pile voltaïque à travers une dissolution aqueuse d'acide sulfurique, qui ne contenait aucune trace d'air atmosphérique ni d'aucune autre substance azotée, et ils ont trouvé qu'il se dégageait de l'ozône avec l'oxigène au pôle positif, tant que le liquide de décomposition était exposé à l'action de la pile, et pourvu qu'on maintînt l'eau acidulée à une température basse pendant toute la durée de l'expérience.

Comme le liquide en question ne pouvait renfermer autre chose que de l'eau et de l'acide sulfurique, que d'ailleurs ce dernier corps ne se décompose pas dans ces circonstances, et qu'il n'y a point de soufre dans l'ozône, cette substance ne pouvait, dans ce cas, être produite que par l'eau. Mais il est hors de doute que l'ozône se distingue essentiellement de l'oxigène par ses propriétés chimiques et voltaïques; il faut donc qu'il renferme autre chose que de l'oxigène; or les circonstances qui accompagnent la production de l'ozône dans l'électrolysation de l'eau, ne permettent pas de supposer que cette seconde substance soit autre que de l'hydrogène.

Sans doute, la démonstration que l'ozône est un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène, ne pourra être regardée comme complète que lorsqu'on aura décomposé cette substance dans ses deux éléments, eau et oxigène. Néanmoins, à l'état où elle est parvenue, on peut s'en contenter pour le moment, et expliquer d'une manière passablement satisfaisante, à l'aide de l'hypothèse en question, les effets chimiques produits par l'ozône, ainsi que la formation de ce singulier corps.

Quant à la production d'ozône qui accompagne l'électrolysation de l'eau, elle s'explique si on considère l'ozône comme un produit secondaire, semblable à tant d'autres auxquels les décompositions électrolytiques donnent naissance. Par exem-

ple, si le courant traverse le proto-chlorure d'étain, il se produit du deuto-chlorure d'étain sur l'électrode positif; de même, si on électrolyse l'eau, une partie de l'oxigène qui se dégage au pôle positif, se combine avec une partie de l'eau qui s'y trouve, et forme ainsi de l'ozône, exactement comme le chlore qui se dégage sur l'électrode positif, et qui provient de la décomposition du proto-chlorure d'étain, forme du deuto-chlorure en s'unissant au proto-chlorure qui se trouve en ce point-là.

Il est beaucoup plus difficile de concevoir la manière dont le phosphore détermine l'oxigène à se combiner avec l'eau pour former de l'ozône. Cet effet est du nombre de ces phénomènes obscurs que Berzélius rattache à la force particulière qui a reçu de lui le nom de force catalytique. Nous ne pouvons non plus comprendre l'influence qu'exercent certains gaz, tels que l'azote, l'hydrogène, l'acide carbonique, sur la formation de l'ozône. Il est vraisemblable que l'influence de ces gaz consiste uniquement en ce qu'ils diminuent la densité de l'oxigène, car je doute à peine qu'il puisse se former de l'ozône quand on met en contact avec du phosphore de l'oxigène suffisamment étendu et mélangé d'eau; nous savons en effet, d'après les chimistes, que le phosphore plongé dans de l'oxigène étendu, donne une vive lueur, même à la température ordinaire. Si les choses se passent réellement ainsi, il en résulte que c'est uniquement en raréfiant l'oxigène, que les gaz en question donnent lieu à la formation de l'ozône. Mais il resterait encore à expliquer pourquoi le phosphore ne peut faire combiner avec l'eau que de l'oxigène raréfié.

Il nous est également impossible de comprendre comment l'électricité détermine la formation de l'ozône, quoique nous sachions que l'ozône électrique doit sa naissance à l'oxigène et à l'humidité de l'air atmosphérique. L'étincelle électrique peut bien, il est vrai, déterminer la combinaison chimique de certains gaz; mais je ne connais point de cas où, dans les mêmes circonstances, un corps simple se combine avec une substance

composée. Ainsi l'oxigène s'unit avec l'hydrogène et forme de l'eau ; ou bien, si cette dernière contient une autre substance oxidable, du carbone par exemple, l'oxigène se combine avec celui-ci et forme de l'acide carbonique, etc. Il est donc nécessaire d'étudier, plus exactement qu'on ne l'a fait jusqu'ici, l'influence du phosphore et de l'électricité sur l'oxigène ; et cette étude, quelque difficile qu'elle pût être, présenterait sans doute en même temps le plus grand intérêt.

Dans mon mémoire sur l'ozône, j'ai attribué la lumière du phosphore plongé dans l'air atmosphérique, ainsi que la formation d'acide phosphorique qui l'accompagne, principalement à l'action de l'ozône sur le phosphore, ou, selon mes propres expressions, à l'ozonisation de ce dernier corps. Cette assertion est encore exacte aujourd'hui dans son ensemble, quoique la nouvelle hypothèse relative à la nature du principe odorant nous force à expliquer d'une autre manière le phénomène chimique qui a lieu dans ce cas. En effet le phosphore, en entrant en contact à la température ordinaire avec de l'air atmosphérique chargé d'humidité, détermine, par l'effet de son influence catalytique, une partie de l'oxigène de l'air à se combiner avec de l'eau, et à former ainsi de l'ozône. Or l'oxigène renfermé dans ce corps pouvant, même à la température ordinaire, se combiner avec un grand nombre de corps oxidables, par exemple même avec de l'iode et de l'argent, il serait vraiment étonnant que cet ozône ne pût pas aussi exercer un pouvoir d'oxidation sur le phosphore, si facile lui-même à s'oxider. J'ai en effet démontré que l'ozône, mis en contact avec le phosphore, disparaît. Par conséquent, dès que par l'influence du phosphore il se dégage de l'ozône dans l'air ambiant, l'ozône commence à réagir lui-même sur le phosphore, ce qui donne lieu à de l'acide phosphorique, de même que l'iode, soumis à l'action de l'ozône, se transforme en acide iodique. Par suite de cette oxidation il se dégage de la chaleur et de la lumière ; et ce qui met hors de doute que c'est bien l'oxi-

dation qui est la cause principale de la lumière du phosphore et de la production de l'acide phosphorique, c'est que, dans de l'air atmosphérique sec, cette lumière cesse en grande partie, sinon complétement, et qu'en même temps on ne peut apercevoir aucune trace d'ozône. Cet affaiblissement de la lumière du phosphore est dû à une oxidation extrêmement lente, qui n'a vraisemblablement pour résultat que la formation d'acide phosphoreux. Dans cette hypothèse, le mélange d'acide phosphorique et d'acide phosphoreux qui se produit dans de l'air atmosphérique humide, au même instant que le phosphore commence à briller avec vivacité, doit sa naissance à deux modes d'oxidation de cette substance. L'acide phosphorique est dû à la combinaison du phosphore avec l'oxigène de l'ozône, opération dans laquelle ce dernier abandonne de l'eau; l'acide phosphoreux est dû principalement à la combinaison immédiate de l'oxigène de l'air avec le phosphore. D'après cela, la plus grande partie de l'oxigène formerait d'abord de l'ozône avec l'eau, sous l'influence du phosphore, puis, plus tard, cet oxigène ainsi combiné se combinerait avec le phosphore.

Maintenant, s'il ne peut plus y avoir de doute sur l'identité de l'ozône électrique avec l'ozône voltaïque et l'ozône chimique, il est aisé de voir que l'air atmosphérique doit toujours renfermer de l'ozône libre, par suite des continuelles décharges électriques qui y ont lieu; et l'on conçoit aussi, sans peine, que la quantité de l'ozône ne puisse pas être considérable, et qu'une grande quantité de cette substance ne puisse pas s'accumuler dans l'air, soit à cause des nombreuses substances oxidables avec lesquelles l'air est constamment en contact, soit, ainsi que l'expérience le démontre, à cause de la facilité avec laquelle l'ozône abandonne à des corps oxidables une partie de son oxigène.

La présence de cet ozône libre dans l'air atmosphérique pourrait servir à rendre en partie raison de diverses oxidations lentes, telles que le ternissement d'un grand nombre de métaux, la décoloration des plantes, la lente destruction de sub-

stances organiques en général. L'oxigène libre ne présente, à la température ordinaire, que peu ou point de disposition à se combiner même avec des corps facilement oxidables. Pour le rendre capable de former des combinaisons chimiques, il faut, pour l'ordinaire, le soumettre à l'action d'une haute température. Il est donc peu vraisemblable que de l'oxigène atmosphérique libre s'unisse immédiatement, à la température ordinaire, avec un métal ou avec le carbone ou l'hydrogène d'une substance organique ; et, en effet, on fait jouer un rôle à l'eau dans une oxidation de ce genre, puisqu'on suppose que l'oxigène dissous dans l'eau et n'existant plus à l'état de gaz peut seul exercer une action oxidante, par exemple sur les métaux.

Si on admet que d'autres substances oxidables possèdent aussi, mais à un degré inférieur, la force catalytique du phosphore, supposition contre laquelle on ne peut pas élever beaucoup d'objections, il en résulterait que ces corps, plongés dans de l'air atmosphérique humide, pourraient, sans le secours d'aucun autre, produire de même de l'ozône, et que celui-ci pourrait exercer sur eux une réaction d'oxidation, comme sur le phosphore.

On sait que le bois peut revêtir un certain état qui lui donne la propriété de répandre une lueur semblable à celle du phosphore, si on le met dans l'obscurité; un grand nombre des circonstances dans lesquelles ce phénomène a lieu, sont exactement les mêmes que pour le phosphore. Le bois phosphorescent produit de l'acide carbonique pendant qu'il répand sa lueur, de même que le phosphore produit de l'acide phosphatique; et cela fait naturellement supposer que l'un et l'autre phénomène pourraient bien avoir une cause semblable. La phosphorescence de la mer appartient peut-être aussi à la même classe de phénomènes. Quoi qu'il en soit, voici un fait qui paraît démontrer d'une manière directe l'exactitude de l'hypothèse d'après laquelle l'atmosphère renferme de l'ozône libre. Plus de cent expériences diverses m'ont appris d'une manière

certaine et invariable, que la colle d'iodure de potassium, exposée à l'air libre, bleuit plus ou moins promptement, tandis que cette réaction n'a pas lieu quand on renferme cette même colle dans un flacon rempli d'air atmosphérique. Selon la nature de l'air dont j'ai fait usage, j'ai vu la colle bleuir sensiblement après avoir été à peine dix minutes exposée à l'air libre, et prendre une couleur bleu-noir après un séjour de plusieurs heures, tandis que la même colle, lorsqu'elle était dans une chambre fermée ou dans une bouteille, était tout à fait incolore après le même espace de temps.

Je me suis assuré, de plus, que si on imprègne d'une solution d'iodure de potassium un morceau de toile propre, et qu'on le tienne longtemps exposé à l'air libre, il se produit un peu d'iodate de potasse, et qu'il se dégage des traces d'iode, mais que, si l'expérience se fait dans un espace renfermé, ces modifications n'ont pas lieu. Si on met la solution d'iodure de potassium en contact avec de l'air ozonisé artificiellement, il se forme aussi de l'iodate de potasse avec dégagement d'iode; et l'on sait que, mise en contact avec de l'ozône, la colle d'iodure de potassium bleuit.

Les faits que je viens de mentionner me disposent donc à croire que les effets produits par l'air sur l'iodure de potassium doivent être attribués à des traces d'ozône qui se trouvent dans l'air. L'absence d'effet sensible sur l'iodure mis dans des flacons fermés tient à ce que l'air ne renferme qu'une très-petite quantité d'ozône; mais si la colle d'iodure de potassium est exposée à l'air libre, elle entre sans cesse en contact avec de nouvelles particules d'air, auxquelles elle enlève leur proportion d'ozône, ce qui peut la bleuir sensiblement à la longue.

Si l'on opère dans des espaces grands mais fermés, tels que des chambres, il suffira qu'il s'y trouve seulement des traces d'un gaz destructif de l'ozône, d'hydrogène sulfuré par exemple, pour neutraliser l'action de l'ozône libre sur la colle d'iodure, et pour empêcher par conséquent celle-ci de bleuir. Supposons, d'un autre côté, que l'air renfermé dans la chambre

ne contienne point de gaz destructif de l'ozône, et qu'il s'y trouve par conséquent une petite quantité d'ozône libre, le bleuissement de la colle n'aura pas lieu non plus malgré cela, si la masse d'air n'éprouve point de mouvement.

Si les résultats de mes propres expériences et de celles de Mr. Marignac ne permettent guère de voir dans l'ozône autre chose qu'un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène, on se demande si cette combinaison est identique avec l'eau oxidée découverte par Mr. Thenard. Voici les motifs qui m'empêchent d'assimiler ces deux substances. D'après la plupart des chimistes, le peroxide d'oxigène de Thenard est inodore, il est soluble en toute proportion dans l'eau; d'après les expériences de Becquerel et les miennes propres, il polarise positivement le platine et l'or; enfin, mis en contact avec de l'argent divisé, il éprouve une décomposition sans que le métal s'oxide. Au contraire, l'ozône possède une odeur tout à fait particulière et extrêmement pénétrante; il ne se dissout pas, ou pour ainsi dire pas, dans l'eau; il donne au platine et à l'or une polarisation négative, et il oxide l'argent, même à la température ordinaire. Tant que nous n'avons pas réussi à isoler la substance odorante, nous ne pouvons rien dire relativement à la proportion dans laquelle l'oxigène et l'hydrogène s'y trouvent combinés. Peut-être l'ozône renferme-t-il plus d'oxigène que l'eau oxidée de Thenard; mais il se pourrait aussi que l'ozône ne fût qu'une modification isomérique du peroxide d'hydrogène.

Quant à isoler l'ozône, il n'est peut-être pas possible d'y réussir à l'aide des procédés que nous offre la chimie, vu la grande facilité avec laquelle ce corps se décompose. Si l'ozône devenait liquide ou solide à un degré de froid accessible à nos procédés physiques, on pourrait espérer de l'isoler, en faisant passer une grande quantité d'air très-ozonisé dans des tubes de verre entourés d'un mélange frigorifique.

Bâle, le 20 *mars* 1845.

ESSAIS SUR L'OZÔNE, par MM. Louis RIVIER et le professeur L.-R. DE FELLENBERG. (Mémoire lu à la séance de la *Société Vaudoise des Sciences naturelles*, du 19 février 1845.)

Les résultats des essais que nous allons rapporter ont été obtenus pendant une série d'expériences faites dans le but de recueillir, si possible, une certaine quantité d'ozône, soit libre, soit combiné à un corps qui permette d'en étudier la nature. Comme la plupart des réactions attribuées par Mr. Schœnbein à l'ozône peuvent aussi être obtenues avec l'acide nitreux ou avec l'acide nitrique, l'idée de rechercher ces corps dans les expériences où l'ozône a été remarqué, était donc toute naturelle, et a aussi déterminé le choix des méthodes que nous avons employées, soit pour produire l'ozône, soit pour l'obtenir combiné à un élément connu. L'opinion, que l'ozône pouvait bien être de l'acide nitreux, avait déjà été émise au congrès de Milan, en septembre 1844, par Mr. de Kramer; et plus tard Mr. le professeur A. de la Rive dit dans une note qui suit le mémoire de Mr. Schœnbein sur l'ozône, et qui se trouve *in extenso* dans les *Archives de l'Électricité*, que les réactions indiquées ont beaucoup de ressemblance avec celles de l'acide nitreux [1].

Entre les nombreux moyens de production de l'ozône que Mr. Schœnbein indique, deux se sont surtout recommandés à nous, tant par la quantité du produit, que par le contrôle que

[1] Voyez *Archives de l'Electricité*, n° 15, t. IV, p. 454. Et nous l'avons fait voir dans une séance précédente (18 décembre 1844), en répétant, à l'aide de l'acide nitreux, la plupart des expériences de Mr. Schœnbein.

la différence de leurs modes d'action fournissait sur la nature du corps obtenu. Ces deux modes de production de l'ozône, employés par nous, sont : 1° l'action d'une série d'étincelles électriques sur l'air humide, et 2° l'oxidation lente du phosphore dans l'air humide. Nous allons indiquer comment nous avons opéré, et par quelles réactions nous avons constaté la formation de l'ozône.

I. *Essais faits avec de l'ozône obtenu en faisant passer une série d'étincelles à travers de l'air humide.*

Nous fîmes passer pendant environ 2 heures des étincelles électriques à travers l'air d'un ballon de verre, dans lequel deux fils conducteurs isolés se rapprochaient à une ligne de distance. Dans le fond du ballon se trouvait une dissolution faible de carbonate de potasse pur, avec laquelle on avait humecté les parois du vase. L'air contenu dans le ballon acquit d'une manière très-distincte l'odeur électrique. On laissa la dissolution pendant plusieurs jours dans le ballon fermé. L'odeur ayant disparu, le liquide contenu dans le ballon fut recueilli, et le ballon rincé avec de l'eau distillée. Ces liquides réunis furent neutralisés avec un petit excès d'acide acétique pur, évaporés à sec, et traités avec de l'alcool absolu qui laissa un petit résidu cristallin. Ce résidu, bien lavé avec de l'alcool anhydre, fut dissous dans une goutte d'eau, filtré et évaporé à sec. Sous le microscope, les cristaux ressemblaient à ceux du salpêtre ; ils étaient prismatiques et aciculaires. Ce sel, dissous dans l'eau, fournissait les réactions suivantes : 1° une goutte, mélangée avec de l'acide sulfurique concentré et quelques grains de brucine, donnait à l'acide une coloration qui était d'abord rouge et ensuite jaune-orange clair et persistante; 2° une goutte, mélangée avec du sulfate d'indigo et un peu d'acide sulfurique, décolorait la teinture bleue ; 3° Une goutte, mêlée avec de l'acide

sulfurique et du sulfate d'oxidule de fer, colora lentement le liquide en rose. A l'effet de recueillir une plus grande quantité d'ozône, nous modifiâmes notre appareil. Au lieu d'un ballon, nous nous servîmes d'un tube de verre dans lequel 7 fils de platine étaient scellés de manière que la même étincelle était obligée de traverser 6 fois le tube, en passant du premier bout de fil au deuxième, du deuxième au troisième, etc., jusqu'au septième. (Voyez fig. 1 de la planche à la fin du cahier.) Pendant qu'on faisait passer des étincelles à travers l'air contenu dans le tube, l'air était obligé de passer du tube dans un petit flacon contenant un lait de chaux; l'aspiration de l'air à travers l'appareil se faisait au moyen d'une bouteille remplie d'eau, dont l'écoulement était réglé par un robinet. Nous fîmes passer des étincelles électriques par les fils de notre tube pendant environ trois heures, en maintenant pendant tout ce temps un courant d'air dans le tube. Le lait de chaux devait absorber l'ozône. Pour retrouver ce corps, nous filtrâmes le lait de chaux, et nous l'évaporâmes à sec. La matière sèche, reprise par l'eau, fut décomposée par le carbonate d'ammoniaque, et la dissolution ammoniacale évaporée à sec. Elle donna une masse cristalline en fines aiguilles, très-soluble dans l'eau. Cette substance, dissoute dans quelques gouttes d'eau distillée, fournit les réactions suivantes : 1° coloration de l'acide sulfurique avec la brucine; 2° coloration en rouge avec l'acide sulfurique et la narcotine; 3° décoloration du sulfate d'indigo; 4° coloration en brun d'un mélange de sulfate d'oxidule de fer et d'acide sulfurique; en chauffant le mélange dans un tube d'essai, dans lequel on avait glissé un papier teint en bleu avec de l'indigo, mais qui se trouvait à $^1/_2$ pouce de distance du liquide, la dissolution brune devenait jaune, et le papier d'indigo se trouvait rapidement décoloré. — L'ozône, combiné à l'ammoniaque, fournissait donc les mêmes réactions que lorsqu'il était combiné à la potasse; la plus grande quantité de matière recueillie permit de répéter toutes ces expériences plusieurs fois, et entre autres en présence des

membres de la Société Vaudoise des Sciences naturelles, dans la séance du 19 février 1845.

II. *Essais faits avec de l'ozône produit par l'oxidation lente du phosphore dans l'air.*

Un bâton de phosphore fut suspendu dans un flacon d'un litre de capacité, contenant quelques gouttes d'eau et fermé avec un bouchon de verre. Quand les fumées formées d'abord par l'oxidation du phosphore eurent disparu, on retira le bâton et on introduisit des papiers réactifs humides, colorés avec du tournesol, de l'extrait de fernambouc et de dahlias. (*Georgina purpurea*.) Ces papiers furent blanchis au bout de 12 heures environ. Un papier teint avec de l'indigo fut blanchi au bout d'un quart d'heure. Un papier collé avec de l'amidon, et imbibé d'une dissolution très-faible d'iodure de potassium, y fut instantanément bleui. La dissolution d'acide phosphorique qui se trouvait dans le flacon, donnait avec de la brucine et de l'acide sulfurique la coloration caractéristique indiquée plus haut. Dans le but de combiner à une base l'ozône contenu comme gaz dans la bouteille, et comme liquide dans l'acide phosphorique, nous introduisîmes dans le flacon de l'eau de chaux en excès, et nous agitâmes bien le flacon. Quand toute odeur eut disparu, nous filtrâmes la dissolution (rendue alcaline par un excès d'eau de chaux) pour la séparer du phosphate de chaux formé. La dissolution fut évaporée à sec, reprise par de l'eau distillée, précipitée par un excès de carbonate d'ammoniaque, et traitée comme plus haut. Le résidu salin ressemblait à celui qui avait été obtenu par les essais déjà décrits, et fournissait les réactions suivantes : 1° la dissolution de ce sel décolorait le sulfate d'indigo ; 2° une goutte, ajoutée à de l'iodure de potassium aiguisé d'acide sulfurique, a bleui un papier amidonné ; 3° une autre portion de la dissolution a produit la coloration rouge, puis jaune-orangé, avec l'acide sulfurique et la brucine. Ces essais furent répétés plusieurs fois.

Dans le but de recueillir une plus grande quantité de ce composé, nous disposâmes l'appareil suivant (fig. 2). Nous plaçâmes dans un tube de verre d'un mètre de longueur, et d'environ 1 $^1/_2$ centimètre de diamètre intérieur, une série de bâtons de phosphore, baignés d'un peu d'eau distillée ; l'un des bouts du tube est ouvert, l'autre communique, au moyen d'un tube recourbé à angle droit, avec un flacon contenant un lait de chaux. Au moyen d'un aspirateur on fait passer de l'air atmosphérique, d'abord sur le phosphore humide, puis quand il s'est chargé d'ozône, à travers le lait de chaux, qui retient l'ozône, ainsi que les acides phosphorique et phosphoreux qui auraient pu suivre l'air sous forme de fumées. La quantité d'air qu'on faisait passer pendant 24 heures sur le phosphore, était environ de 10 litres. Toutes les 24 heures on changeait le contenu du petit flacon, et on réunissait les liquides qu'il avait contenus. Ces liquides (*alcalins*) furent filtrés, la dissolution évaporée à sec, la masse sèche reprise par de l'eau distillée, et la dissolution filtrée, traitée comme précédemment par le carbonate d'ammoniaque, évaporée à sec. Le sel ammoniacal obtenu fut décomposé par l'eau de strontiane, et évaporé à sec. La masse reprise par l'eau distillée, et évaporée lentement, donna de belles aiguilles d'un sel qui n'était point déliquescent et qui fournit, après dissolution dans l'eau, les réactions suivantes : 1° Coloration en rouge, puis en jaune, de la brucine ; 2° coloration en rouge de la narcotine ; 3° décoloration du sulfate d'indigo ; 4° coloration en brun-noirâtre du sulfate d'oxidule de fer, la dissolution chauffée devenait jaune, et un papier d'indigo, glissé dans le tube, y était promptement blanchi ; 5° quelques grains du sel dissous dans de l'eau, et mélangés avec de l'acide hydrochlorique pur, dissolvaient rapidement l'or en feuilles; la dissolution étendue de beaucoup d'eau donna, par l'addition de quelques gouttes de chlorure d'étain, le précipité pourpre de Cassius ; 6° quelques grains de sel sec, fondus dans un petit tube d'essai avec du bisulfate de potasse, déga-

gèrent d'abondantes vapeurs rouges qui décolorèrent très-promptement un papier d'indigo glissé dans le tube.

Comme nous avions remarqué que les eaux acides provenant de l'oxidation du phosphore, et que nous avions réunies pendant l'opération, avaient la propriété de produire la coloration en rouge, et ensuite en jaune, de l'acide sulfurique mêlé de brucine, nous désirâmes en extraire l'ozône par la distillation. Nous introduisîmes tout l'acide phosphorique recueilli, dans une cornue à laquelle fut adapté un matras tubulé, contenant environ 20 grammes d'eau de strontiane (à défaut d'eau de baryte). Nous distillâmes très-doucement, jusqu'à l'apparition de vapeurs blanches, accompagnées de l'odeur d'hydrogène phosphoré. Le tiers environ du contenu de la cornue avait distillé; l'acide restant ne fournissait plus la moindre trace de coloration, quand on le mélangeait avec de l'acide sulfurique et de la brucine ou de la narcotine; tout ce qui, avant la distillation, avait produit ces réactions, se trouvait donc dans le récipient, combiné à de la strontiane.

Le contenu du matras avait perdu sa réaction alcaline; on ajouta quelques gouttes d'eau de strontiane, qui produisirent un léger précipité de phosphate de cette terre, qu'on sépara par filtration; la liqueur filtrée donna par évaporation une masse cristalline formée de belles aiguilles, qui avaient plus d'une ligne de longueur, et pesant en tout environ un décigramme. La quantité en étant trop minime pour permettre une analyse quantitative, nous fîmes les réactions suivantes: 1° coloration de l'acide sulfurique et de la brucine; 2° coloration de l'acide sulfurique avec la narcotine; 3° décoloration du sulfate d'indigo; 4° coloration en brun du sulfate d'oxidule de fer; 5° dissolution de l'or en feuilles par le mélange avec l'acide hydrochlorique pur, et précipitation en pourpre de la dissolution d'or par le chlorure d'étain; 6° dégagement de vapeurs rouges blanchissant le papier d'indigo, par la fusion du sel sec avec le bisulfate de potasse. La quantité de sel de strontiane, obtenue

par la distillation de l'acide phosphorique, était bien plus grande que celle qui est tirée des dissolutions de l'ozône dans l'eau de chaux. Nous devons faire remarquer ici, que tous les réactifs employés dans tous ces essais ont été examinés, par rapport à leur pureté, avec la plus scrupuleuse exactitude; l'eau de chaux, ainsi que le lait de chaux, obtenus en ajoutant toujours de nouvelle eau sur un abondant dépôt d'hydrate de chaux, n'ont pas indiqué la moindre trace ni de chlorures ni de nitrates; il en était de même du carbonate d'ammoniaque et de l'ammoniaque employés; la même remarque s'applique aux autres réactifs. L'acide sulfurique employé était de l'acide fraîchement distillé avec beaucoup de soins, et ne contenant ni chlore ni aucune des combinaisons de l'azote. L'acide hydrochlorique était préparé par l'un de nous, et parfaitement exempt de chlore et de brôme. Quant à l'eau distillée, nous n'y pûmes découvrir par aucun réactif des substances étrangères. Nous croyons cette remarque nécessaire pour montrer quels soins nous avons pris pour nous mettre à couvert de toute espèce de méprises et d'erreurs, surtout quand il s'agit de constater, non par une analyse quantitative, jusqu'ici prématurée, mais par de simples réactions, l'identité ou la différence d'un nouveau corps, tel que l'ozône, avec des substances connues. C'est aussi pour cela que nous n'avons employé que des réactifs préparés ou purifiés par nous-mêmes, et faciles à examiner par rapport à leur pureté. Nous avons en général évité, dans nos réactions, l'emploi de l'iodure de potassium et de l'amidon, pour rechercher la présence de l'ozône, parce que plusieurs acides, même peu concentrés, mais purs, décomposent ce sel de manière à colorer l'amidon en bleu, et peuvent ainsi donner lieu à des méprises. Enfin, nous avons cherché, autant que possible, à varier les réactions, afin de constater d'une manière aussi directe que possible les caractères *chimiques* de l'ozône, ses caractères physiques ayant été suffisamment étudiés par Mr. Schœnbein, et cette partie étant étrangère à notre travail.

Les réactions obtenues avec nos produits, soit de l'oxidation du phosphore, soit de la combustion de l'air par l'étincelle électrique, sont toutes connues comme appartenant à l'acide nitreux ou à l'acide nitrique; et comme nous avons, par des recherches exactes faites dans ce but, prouvé dans nos sels l'absence de chlore et de brome, nos réactions ne peuvent plus être attribuées à d'autres corps qu'aux deux acides de l'azote. La réaction de l'ozône par l'iodure de potassium et l'amidon est la plus sensible que nous connaissions pour découvrir l'acide nitreux, tandis que l'acide nitrique pur très-étendu, exempt d'acide nitreux, ne colore point en bleu une dissolution pure d'iodure de potassium mélangée de colle d'amidon. Cette réaction nous ferait pencher vers l'opinion que les produits immédiats de nos expériences sont des nitrites, qui ne se changent en nitrates que par le contact avec l'air atmosphérique. La décoloration des papiers réactifs de curcuma, fernambouc, dahlia et indigo (le tournesol excepté), se fait de la même manière dans l'ozône obtenu avec du phosphore et de l'air, et dans de l'acide nitreux recueilli dans un flacon contenant un peu d'eau, avec laquelle on agite le flacon jusqu'à décoloration complète du gaz contenu dans le flacon. Dans ce cas le gaz a aussi la même odeur que l'air ozoné; les papiers colorés se blanchissent complétement, et ne prennent après décoloration une teinte jaune, que quand le gaz nitreux est encore assez abondant pour colorer visiblement l'air du flacon.

Ces essais ont été répétés plusieurs fois, et nous ont fait voir que du gaz nitreux, obtenu par la décomposition du nitrate de mercure sec et cristallisé, décoloré par de l'eau, fournit les mêmes réactions sur les papiers réactifs que l'air ozoné, sans nous offrir aucun caractère distinctif entre ces deux corps. Les réactions avec la brucine et la narcotine appartiennent (l'absence de chlore, de brome et de leurs composés étant constatée) exclusivement à l'acide nitrique; il en est de même de celles avec l'indigo, le sulfate d'oxidule de fer, la feuille d'or, et sur-

tout avec le bisulfate de potasse, qui à notre avis est la plus irrécusable, puisque l'apparition des vapeurs rouges, dans les circonstances données, ne peut être attribuée qu'à la décomposition d'un nitrate ou d'un nitrite.

Le fait que nous ayons constaté la formation d'acide nitrique par l'action de l'étincelle électrique sur l'air, n'a rien de surprenant. C'est même déjà un fait fort ancien en chimie. Déjà Priestley et Cavendisch ont prouvé qu'en faisant passer des étincelles électriques à travers un mélange d'oxigène et d'azote, il se formait de l'acide nitrique. Liebig et Lampadius ont trouvé de l'acide nitrique, soit libre, soit combiné à de l'ammoniaque, dans de l'eau de pluie recueillie pendant des orages; le premier des deux savants attribue la formation de cet acide à l'action de la foudre sur les éléments de l'air atmosphérique. Boussingault attribue à la formation de l'acide nitrique dans l'air de certaines contrées des tropiques, où les orages sont très-fréquents, les abondants amas de salpêtre qui se trouvent à la surface de la terre. Si la formation de l'acide nitrique par l'étincelle électrique est connue depuis longtemps, il n'en est pas de même de la formation de ce corps qui accompagne l'oxidation du phosphore dans l'air, que Mr. Schœnbein a observée le premier. Mais s'il paraît être certain, que l'étincelle électrique, en traversant l'air atmosphérique, produit de l'acide *nitrique*, il ne l'est pas autant pour ce qui regarde le cas de l'oxidation du phosphore dans l'air. Dans ce cas il se pourrait fort bien qu'il ne se formât d'abord que de l'acide *nitreux*, qui, une fois combiné à une base salifiable, s'oxiderait lentement en acide nitrique, en sorte que les nitrates obtenus ne seraient que le résultat de l'oxidation des nitrites, formés par le contact du gaz nitreux avec une base salifiable. Nous ne nous prononçons point ici d'une manière absolue en faveur de cette façon de voir, cette question étant difficile à trancher d'une manière certaine, et nos expériences n'étant point encore assez décisives.

Nous concluons donc de nos expériences, que dans les deux modes de production de l'ozône, que nous avons étudiés, il se formait toujours de l'acide nitreux ou nitrique, dont nous croyons avoir suffisamment constaté la présence par des réactions décisives. Mais il reste encore une objection un peu embarrassante à éclaircir. Mr. Schœnbein dit (*Poggend. Annal.*, t. LXIII, page 520, à la note au bas de la page) que l'air ozoné avait traversé plusieurs flacons de Woulf, sans perdre son odeur ni sa réaction sur le papier amidonné, imbibé d'iodure de potassium. Si nous avons bien compris le sens de cette note, l'ozône est peu soluble dans l'eau, et pourrait donc ne pas être retenu par ce liquide. S'il en est ainsi, nos essais ne prouveraient rien contre l'ozône, puisqu'il aurait traversé tous nos appareils, contenant du lait de chaux ou de l'eau, sans y être retenu; mais alors, comment s'expliquer qu'un corps, analogue au chlore, au brome, etc., qui sont si avidement retenus par l'hydrate de chaux, puisse traverser ce réactif sans y être fixé? Ou l'ozône est soluble dans l'eau, et alors une portion doit s'y dissoudre; ou il n'est pas soluble dans l'eau. Ce dernier cas n'a pas lieu, car Mr. Schœnbein a beaucoup expérimenté avec de l'eau ozonée; l'eau de pluie d'orage, selon ce savant, en est une dissolution propre à montrer les réactions de ce corps. Dans ce cas, qui était celui de nos appareils, l'ozône produit, soit par le phosphore, soit par l'étincelle électrique, devait rester en partie dissous avec tout l'acide nitrique formé, dans l'eau de chaux toujours tenue saturée complétement par un excès d'hydrate. Si l'ozône est un corps simple, analogue au chlore, au brome, ou à l'iode, il devait se transformer par le contact avec l'hydrate de chaux, comme le fait le chlore, en ozonure de calcium, et ozonate ou ozonite de chaux, deux produits qui nous sont inconnus, et dont nous ne savons pas s'ils sont solubles dans l'eau ou non. S'ils sont solubles, nous devons avoir recueilli ces composés dans le liquide qui contenait les nitrates; s'ils sont insolubles, ils devaient rester sur les fil-

tres avec l'hydrate de chaux employé, et avec les phosphate et phosphite de cette terre; nous avouons franchement que nous n'avons pas recherché l'ozône dans ces résidus, croyant que, par analogie avec le chlore, l'ozône devait former avec la chaux des sels solubles dans l'eau. Ces sels supposés solubles se trouvent donc dans nos nitrates, et mélangés avec eux. Mais comment y reconnaître leur présence, puisque toutes les réactions indiquées pour l'ozône en dissolution sont les mêmes que les réactions fournies par les nitrates? L'existence de ces dernières étant constatée, et les propriétés des combinaisons ozonées nous étant absolument inconnues, nous n'avons aucun moyen, pour le présent, de distinguer ces combinaisons des nitrates, dont toutes les réactions et les caractères nous sont bien connus.

Nous maintenons donc, comme résultat de notre travail, que si l'ozône n'est pas de l'acide nitrique ou de l'acide nitreux, ces derniers du moins ne manquent jamais d'accompagner la naissance de ce corps simple, et nous prouvent que si d'un côté l'azote est décomposé en ozône et en hydrogène, il est en même temps combiné avec de l'oxigène, pour former de l'acide nitrique ou de l'acide nitreux.

NB. Depuis la lecture de ce mémoire à la séance du 19 février 1845, de la Société Vaudoise des Sciences naturelles, nous avons trouvé que l'ozône ne forme, avec la chaux, aucun produit insoluble dans l'eau, car les résidus insolubles de nos laits de chaux (hydrate, phosphate, phosphite) ne fournissaient aucune des réactions de l'ozône, de quelque manière qu'on les traitât.

SUR LA TRANSMISSION DES COURANTS AU TRAVERS DES LIQUIDES CONDUCTEURS, ET LA PERTE D'ÉLECTRICITÉ AUX CHANGEMENTS DE CONDUCTEURS, par D. MARIÉ. (Thèse présentée à la *Faculté des Sciences de Montpellier*, le 31 mars 1845, pour obtenir le grade de Docteur ès-sciences.)

Dès qu'un certain nombre de faits ont été constatés dans une branche quelconque de la physique, on s'efforce de les relier à l'aide d'une hypothèse. Ainsi groupés, ils plaisent davantage à l'esprit, se retiennent plus facilement, et il semble qu'un travail n'est complet qu'autant qu'on en a pu déduire quelque idée théorique.

Cette tendance de l'esprit est d'un grand secours pour le physicien, lorsqu'il ne s'y abandonne pas aveuglément, en ce qu'elle le guide dans ses recherches, et qu'en le conduisant à observer les phénomènes sous des points de vue divers, elle l'oblige à étudier ceux-ci plus à fond. Mais pour qu'il en tire tout le parti possible, et pour qu'il ne soit pas exposé sans cesse à commettre des erreurs, il ne faut pas qu'il se renferme dans une classe de faits trop restreinte; il faut qu'il puisse embrasser tous les phénomènes connus qui présentent entre eux quelque rapport plus ou moins immédiat, et qui, par cela même, peuvent jeter quelque jour sur leur cause commune.

Pénétré de cette vérité, et voulant diriger mes recherches vers les phénomènes moléculaires et les causes qui les produisent, j'ai pensé qu'avant tout il fallait me familiariser avec les recherches déjà faites dans la même direction, discuter avec soin les résultats obtenus et les méthodes qui les ont fournis. Ce n'est qu'après avoir terminé ce travail, pénible peut-être

pour les personnes qui aiment à obéir à leur impulsion, mais indispensable à quiconque veut aborder les recherches physiques, que l'on peut espérer d'y obtenir des succès durables.

Depuis que, dans cette vue, j'ai commencé une étude attentive des résultats obtenus en électricité, j'ai été frappé de la diversité des moyens de mesure employés, et souvent même de leur imperfection extrême, habitué que je suis à la rigueur des calculs mathématiques, et à la précision admirable apportée dans ses recherches par Mr. Regnault, mon maître dans la science à laquelle j'ai consacré ma vie. On parcourt quelquefois de longs mémoires remplis de faits du plus haut intérêt, sans rencontrer une seule donnée numérique des expériences ; en sorte que la discussion de ces faits reste toujours vague et incomplète. Lorsque ces données ne font pas complétement défaut, souvent on n'est guère plus avancé ; ce sont de simples déviations que l'on fait connaître, sans donner le rapport qui existe entre ces déviations et les forces qui les produisent (il faut faire toutefois quelques exceptions) ; et ces nombres, qui ne sont guère comparables entre eux, le sont bien moins encore avec ceux qne l'on rencontre dans d'autres mémoires.

Il y a donc dans les moyens d'observation en électricité une lacune extrêmement regrettable, et qui pourra retarder longtemps les progrès de cette science : c'est l'absence d'un instrument normal, comparable avec lui-même et avec les autres instruments du même genre, qui permette d'évaluer exactement l'intensité variable ou constante des courants électriques que l'on considère, qui soit, en un mot, à l'électricité ce que le thermomètre est à la chaleur.

Malheureusement il est difficile de trouver un galvanomètre qui puisse réunir les avantages du thermomètre, pour les raisons que nous allons examiner en discutant les moyens qui pourraient le mieux conduire au résultat désiré.

MM. Gay-Lussac et Thenard avaient proposé de mesurer l'intensité d'un courant électrique d'après le volume des gaz

fournis par l'eau qu'il peut décomposer dans un temps donné. Cette méthode n'est pas assez générale, un très-grand nombre de courants étant incapables de décomposer l'eau, quelque acidulée qu'elle soit; de plus, dans le cas même où elle est applicable, elle est beaucoup trop longue: elle ne permet pas d'apprécier des changements rapides dans l'intensité des courants; et comme les sources d'électricité ne restent identiques à elles-mêmes que pendant un temps peu considérable, il est nécessaire d'avoir des moyens de mesure précis et rapides.

Ce dernier point se trouve facilement atteint, en prenant pour mesure de l'intensité d'un courant la force avec laquelle ce courant, placé dans des conditions déterminées par rapport à une aiguille aimantée, tend à dévier cette aiguille du méridien magnétique; mais il reste à bien fixer ces conditions.

La première chose à faire est de les régler de telle manière que l'instrument soit comparable à lui-même, et que deux instruments traversés par un même courant conduisent au même résultat dans l'évaluation de l'intensité numérique de ce courant, de même que deux thermomètres placés dans une enceinte dont la température est uniforme conduisent au même nombre pour représenter cette température commune.

Ce premier résultat obtenu, il restera, s'il est possible ou s'il en est besoin, à rechercher la loi qui lie les indications de l'instrument à l'intensité réelle du courant qui le traverse, de même que l'on a cherché autrefois la loi qui lie la température des corps aux quantités de chaleur que possèdent ces corps.

Commençons par le premier point.

Quant à la condition de rendre le galvanomètre comparable à lui-même, elle est remplie par presque tous les instruments, au moins pendant quelque temps; nous ne nous occuperons que de la seconde.

Mr. Nobili avait proposé de se servir partout d'instruments identiques; son projet n'a pas été adopté à cause de la difficulté

d'exécution, et surtout parce que le galvanomètre qu'il a construit ne peut s'appliquer qu'à des courants trop restreints. L'intensité des courants peut varier dans des limites extrêmement étendues, et il est impossible qu'un seul galvanomètre puisse les mesurer tous, à moins d'artifices particuliers. Aussi a-t-on changé la question. Au lieu de proposer un galvanomètre normal, on a donné des formules qui permissent de déduire des indications d'un galvanomètre quelconque les intensités des courants correspondants (Desains, Thèse de physique, Paris 1837). Mais cette nouvelle méthode ne prendra pas plus faveur auprès des physiciens que la précédente, à cause de la longueur des formules qu'il faudrait réduire en nombres pour former la table de chaque instrument, et aussi à cause de l'incertitude qui règne nécessairement dans l'évaluation des constantes de ces formules. Considérons, en effet, le cas le plus simple envisagé par Mr. Desains, celui d'un courant rectiligne disposé horizontalement dans le plan du méridien magnétique, et passant par l'axe de rotation de l'aiguille aimantée. L'expression de l'action que ce courant exercera sur l'aiguille aimantée est :

$$(1) \qquad \frac{2\rho i \delta k \cos\alpha}{\delta^2 + k^2 \sin^2\alpha},$$

dans laquelle ρ est une constante dépendant de l'intensité magnétique de l'aiguille, i l'intensité du courant, δ la distance de l'aiguille au courant, k la demi-longueur de l'aiguille mesurée entre les deux pôles, et α l'angle de déviation. En partant de ces données, Mr. Desains représente la force qui tend à ramener l'aiguille dans le méridien magnétique par l'expression

$$(2) \qquad \rho j k \sin\alpha,$$

j étant l'intensité du magnétisme terrestre, et il tire de l'égalité de ces deux expressions la relation

$$(3) \qquad i = j. \frac{\delta \, tang.\, \alpha}{2} \left(1 + \frac{k^2}{\delta^2} \sin^2\alpha\right).$$

Mais cette formule repose sur une donnée qui est loin d'être démontrée par l'expérience, à savoir que le pôle d'une aiguille aimantée est le même, soit que l'on considère cette aiguille comme soumise à l'action du magnétisme terrestre, soit qu'on la considère comme soumise à l'action d'un courant situé près d'elle. Cela serait vrai, si tous les éléments magnétiques de l'aiguille étaient concentrés en ce point; loin de là, ils sont répandus sur une certaine étendue du barreau aimanté, et dès lors un pôle d'un aimant n'est autre chose que le point d'application de la résultante des forces parallèles qui proviennent de l'action de la terre sur tous ces éléments; mais les actions du courant sur ces mêmes éléments ne seront plus ni parallèles, ni dans un rapport constant, lorsque l'aiguille sera déviée plus ou moins; le point d'application de leur résultante variera donc lorsque variera α, et on n'est pas en droit d'égaler les valeurs de k dans les formules (1) et (2). Outre cela, comment déterminera-t-on k? Mr. Desains, dans une expérience de vérification faite sur un galvanomètre dont l'aiguille avait $83^{mm},5$ de long, a hésité entre les nombres

$$k = 35,8 \text{ et } k = 27,8,$$

l'un fourni par les formules de Biot, l'autre déduit de cette loi approchée, que dans les aiguilles courtes le pôle se trouve au sixième de leur longueur environ; et après plusieurs tâtonnements, il s'est fixé au nombre

$$k = 33^{mm},5.$$

Ces tâtonnements se reproduiraient pour chaque instrument.

Si de ce cas simple nous passons au cas général, les formules se compliquent considérablement, et avec elles les causes d'incertitude, en sorte que le problème, fût-il résolu théoriquement, ne le serait pas encore pratiquement. Il semblerait donc, d'après cela, qu'on dût en revenir aux galvanomètres identiques, c'est-à-dire qu'il faudrait désespérer de pouvoir ja-

mais comparer entre elles les intensités des courants employés par les divers physiciens. On peut cependant y parvenir assez facilement, je crois. En effet, on possède des instruments qui permettent de comparer d'une manière facile et certaine les intensités de divers courants : les boussoles des sinus et des tangentes. Imaginons maintenant qu'un courant dont l'intensité, mesurée par un même galvanomètre, est constante, décompose une même quantité d'eau acidulée pendant l'unité de temps, de quelque source qu'il émane, en ayant soin, lorsqu'on mesure l'intensité de ce courant, qu'il passe dans l'eau acidulée en même temps que dans le galvanomètre ; on pourra facilement, par des expériences directes, s'assurer si la quantité d'eau décomposée par un courant est proportionnelle à l'intensité de ce courant, mesurée toujours par un galvanomètre des sinus ou des tangentes, ou, dans le cas contraire, calculer une table qui fasse connaître l'intensité du courant en fonction de l'eau décomposée, ou réciproquement. Des expériences qui conduisent à ce résultat ont même été déjà commencées par MM. Pouillet et Faraday.

Faraday, en faisant passer un courant à travers un appareil à décomposer l'eau, puis de là simultanément à travers deux autres appareils semblables, de manière que le courant se partageât entre eux, a trouvé que la quantité d'eau décomposée dans le premier appareil était égale à la somme des quantités décomposées dans les deux autres ; d'où il a tiré la conclusion que la quantité d'eau décomposée par un courant est proportionnelle à l'intensité de ce courant.

Mr. Pouillet est arrivé à la même conclusion relativement à l'action déviatrice des courants ; malheureusement, sa méthode n'est pas à l'abri d'objection. Il se servait d'une roue de bois dont la circonférence était garnie d'un cercle de cuivre muni de dents, et communiquant avec l'axe métallique de cette roue par une lame de cuivre. L'intervalle entre ces dents était rempli d'une substance mauvais conducteur, afin que la surface du

cercle fût unie ; enfin, le galvanomètre qui servait à mesurer l'intensité du courant, communiquait, d'un côté, directement avec l'un des pôles de la pile, de l'autre, avec un ressort métallique qui s'appuyait sur la roue dont l'axe communiquait avec l'autre pôle de la pile. Mr. Pouillet posait le ressort tantôt sur la partie continue du cercle de cuivre, tantôt sur ses dents, et il mesurait la déviation produite par le courant dans ces deux circonstances. Il trouva que les forces qui produisaient ces deux déviations étaient dans le rapport de m à $m + n$, m représentant la largeur de l'une des dents, et n l'intervalle qui sépare deux dents consécutives; d'où il conclut que l'intensité de l'action d'un courant sur une aiguille aimantée est proportionnelle à la quantité d'électricité qui circule dans ce courant pendant l'unité de temps, toute chose égale d'ailleurs.

De ces deux lois, il résulterait que l'action chimique d'un courant est toujours proportionnelle à son action magnétique. Mais les expériences sur lesquelles elles s'appuient sont beaucoup trop restreintes et trop peu nombreuses pour qu'on leur donne ce degré de généralité. D'ailleurs, on sait que lorsque les deux pôles d'une pile sont séparés, il s'y accumule de l'électricité, de sorte qu'au moment où on rétablit la communication, le courant est plus fort qu'il ne le sera un instant plus tard. J'ai pu m'en assurer d'une manière bien simple. Le courant produit par un simple élément d'une pile Bunsen passait dans un galvanomètre et déviait l'aiguille d'un certain angle; je disposai alors de petits obstacles, de telle sorte que, lorsque le courant fut interrompu, l'aiguille restât dans la position qu'elle avait prise sous l'influence du courant, tout en restant libre cependant de se dévier davantage. Si je rétablissais le contact très-peu de temps après avoir rompu le circuit, l'aiguille n'éprouverait pas de mouvement bien sensible ; mais si j'attendais une ou deux minutes, l'aiguille était chassée 5 ou 6 degrés plus loin, puis revenait s'appuyer sur les obstacles. Il pourrait se faire que cette cause d'erreur n'ait pas exercé d'influence

sensible sur les résultats de Mr. Pouillet, mais au moins il est nécessaire de s'en assurer directement par l'expérience.

Le seul moyen de démontrer complétement et nettement la proportionnalité entre les deux actions que nous étudions, c'est de faire passer simultanément un courant à travers un galvanomètre et un appareil à décomposer l'eau, et de comparer la quantité d'eau décomposée pendant l'unité de temps avec la moyenne des déviations de l'aiguille, observées à des intervalles rapprochés pendant cette unité de temps. Une fois ce travail fait, il suffira tout simplement, pour avoir un instrument dont les indications soient comparables à celles d'un autre, de faire passer un courant à travers ce galvanomètre et à travers de l'eau titrée, pendant un certain temps, variable avec le courant; d'observer de minute en minute la déviation de l'aiguille, et de comparer la moyenne des déviations ou la moyenne des forces correspondantes à ces déviations, avec le volume des gaz produits divisé par le temps employé pour le produire. On saura alors qu'un courant d'intensité connue produit dans le galvanomètre une déviation de tant de degrés; c'est tout ce qu'il faut pour le but que nous nous proposons. Il se présente cependant encore une difficulté : c'est que les courants qui peuvent décomposer l'eau ont une intensité trop considérable pour certains galvanomètres destinés à de faibles courants. Il faudra alors avoir une espèce de galvanomètre étalon dont la course soit très-étendue, c'est-à-dire, qui puisse comparer des courants d'intensités très-différentes, et s'en servir pour graduer des galvanomètres usuels, dont la construction et la sensibilité doivent varier avec la nature des expériences auxquelles on veut les faire servir.

Mon galvanomètre étalon se compose d'une boussole des tangentes faite sur le modèle de celle de Mr. Pouillet, avec quelques modifications qui permettent d'y évaluer les déviations à 1′ près. Au-dessus du cercle métallique traversé par le courant, sont placés deux aimants qui peuvent s'écarter comme

les deux branches d'un compas, dans le plan du méridien magnétique. En disposant ce double aimant de manière que les deux pôles inférieurs soient tournés dans le même sens que les pôles de l'aiguille, on peut diminuer à volonté la force directrice de cette dernière, et par conséquent augmenter la sensibilité de l'appareil ; on peut l'augmenter, au contraire, autant qu'on veut en disposant les deux aimants en sens inverse. Malgré l'addition de ce double aimant, la force directrice de l'aiguille de la boussole n'en peut pas moins être regardée comme proportionnelle au sinus de l'angle d'écart, à cause de la petitesse de l'aiguille qui n'a guère que 15^{mm} de longueur, et de la distance des deux aimants à cette aiguille. Je vais me livrer à une longue série de recherches pour établir la comparaison des forces magnétique et chimique d'un courant, afin de résoudre cette question de la mesure des courants d'une manière complète.

Cette discussion terminée, nous allons entrer dans l'examen de quelques lois qui font plus spécialement l'objet de cette thèse.

Plusieurs physiciens, et notamment Mr. de la Rive, ont été conduits par les résultats de leurs expériences, à reconnaître une analogie remarquable entre les phénomènes que présente l'électricité dans son passage à travers les conducteurs, et ceux que présentent la chaleur et la lumière dans leur passage à travers les corps diathermanes, autres que le sel gemme et les corps diaphanes colorés. Ils ont annoncé, en effet, que l'électricité éprouve dans son passage à travers les corps conducteurs, ou lorsqu'elle change de conducteur, une perte d'autant moins grande proportionnellement que cette électricité en a déjà traversé une plus grande étendue, ou qu'elle a changé un plus grand nombre de fois de conducteur.

Toutefois, les expériences de Mr. Pouillet tendraient à simplifier considérablement la nature des courants électriques et le point de vue sous lequel on devrait les envisager. Mr. Pouil-

let admet, en effet, ainsi que Ohm, que l'intensité d'un courant est en raison inverse de la résistance totale que ce courant doit surmonter dans sa marche; en sorte qu'un accroissement de résistance constant influerait d'autant moins sur l'intensité de ce courant, que la résistance primitive serait plus considérable. Il ne serait plus besoin ici d'invoquer l'hétérogénéité des rayons de chaleur et de lumière pour la transporter aux rayons électriques : on devrait tout simplement assimiler ceux-ci à des courants liquides mis en mouvement dans des conduits étroits, et éprouvant dans leur frottement, le long des parois de ceux-ci, une résistance croissant comme leur longueur; ou bien au flux de chaleur qui traverse un mur dont l'épaisseur varie, et dont les deux faces parallèles sont maintenues à des températures constantes (nous verrons plus tard que ce dernier phénomène a une analogie très-grande avec le phénomène électrique auquel nous le comparons); et en effet, plusieurs physiciens ne distinguent les courants électriques les uns des autres que par la *quantité* de fluide mis en mouvement pendant l'unité de temps, et par la *vitesse* avec laquelle cette électricité circule.

Les lois de Mr. Pouillet peuvent donc fournir une explication simple des faits auxquels j'ai précédemment fait allusion; la divergence des résultats obtenus dans la mesure comparative des conductibilités des corps ne serait pas jusqu'ici une objection sérieuse à cette explication ; car les procédés employés par les divers auteurs de ces mesures n'ont, pour ainsi dire, aucun rapport l'un avec l'autre, et jamais dans les expériences on n'a tenu compte de la perte éprouvée par l'électricité dans son passage des réophores aux conducteurs ou réciproquement, perte cependant qui n'est pas à négliger, et qui varie avec la nature des réophores, avec la résistance de la pile et avec les autres circonstances de l'opération.

Ainsi donc, les expériences faites sur les pertes décroissantes qu'éprouve l'électricité dans son passage à travers des obstacles successifs semblables, ne suffisent pas pour établir l'hété-

rogénéité des courants électriques, et leur analogie avec les rayons de chaleur et de lumière, tant que, par les lois de MM. Ohm et Pouillet, on pourra donner une explication plus simple du phénomène. C'est donc sur ces lois que j'ai fait porter mon premier examen, en commençant par celle qui a rapport aux variations successives de la longueur du circuit.

On a fait à cette loi une objection qui, au premier abord, peut paraître sérieuse, mais qui disparaît d'elle-même si l'on rend à la loi de Pouillet son véritable énoncé.

L'expression mathématique de la loi que nous discutons est:

$$(4) \qquad i = \frac{A}{l + c}$$

dans laquelle i représente l'intensité du courant lorsqu'il traverse un conducteur a de longueur l, et c une constante qui, exprimée en fonction de la même unité que l, représente la résistance que la pile et les divers conducteurs autres que a opposent au courant; enfin A une certaine quantité, constante aussi, qui représente le coefficient de conductibilité de la substance a pour le courant.

Or, dans cette formule, si l'on fait $l + c = o$, on a $i = \infty$; c'est-à-dire que, si la résistance de la pile et des conducteurs était nulle, l'intensité du courant serait infinie: ce que l'on ne saurait admettre, parce qu'il en faudrait conclure que la force électromotrice de la pile est infinie.

Remarquons maintenant qu'une seconde loi, établie également par MM. Ohm et Pouillet, montre que la résistance d'un conducteur de longueur constante est en raison inverse de sa section. Cette loi conduit à la différentielle:

$$(5) \qquad \frac{di}{dl} = -m\,i^2\,;$$

comme il est facile de le démontrer *à posteriori*. En effet, supposons que le conducteur traversé par le courant se compose

d'un fil de cuivre de $1^{mm.c.}$ de section, et d'un autre fil de $2^{mm.c.}$ de section, placé au bout du premier. L'intensité du courant sera constante dans toute l'étendue du conducteur ; si donc i représente la quantité d'électricité qui passe dans une section du premier fil, $i' = \frac{i}{2}$ représentera la quantité d'électricité qui passera dans chacune des deux moitiés de la section du second fil de section double du premier. Ainsi, en partant de la formule (5), on aura :

$$(6) \qquad \frac{di'}{dl} = - mi'^2 = - m \frac{i^2}{4},$$

Et pour le courant total :

$$(7) \qquad 2 \frac{di'}{dl} = - 2m \frac{i^2}{4} = - m \frac{i^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{di}{dl},$$

Or, $2 \frac{di'}{dl}$ représente la diminution qui résulterait, dans l'intensité du courant, d'un accroissement d'une unité dans la longueur du conducteur de section 2, et $\frac{di}{dl}$ la diminution qui serait apportée à ce même courant par l'unité de longueur du conducteur de section 1, si cette diminution était constante pour chaque élément successif de ces deux portions de conducteur ; nous retombons donc bien dans la seconde loi de Pouillet.

De la formule (5), nous tirons maintenant :

$$(8) \qquad - \frac{di}{i^2} = mdl$$

qui devient par l'intégration

$$(9) \qquad i = \frac{A}{l + c},$$

formule semblable à celle de Mr. Pouillet, à cette différence

près que l représente toute la longueur du circuit traversé par le courant, y compris la pile elle-même : cette longueur du circuit étant exprimée en fonction d'une même unité, du reste arbitraire, et c étant une constante telle, que $\frac{A}{c}$ représente l'intensité initiale du courant. On peut maintenant dégager le conducteur sur lequel on expérimente; mais alors c ne représentera plus la résistance de la pile, et $l + c$ ne pourra en aucun cas être nul.

Mr. Pouillet n'a fait, pour vérifier cette loi, qu'un petit nombre d'expériences directes sur les métaux. Je les ai reprises sur les dissolutions, en leur donnant beaucoup d'extension et avec toute la précision possible.

J'ai opéré sur le sulfate de cuivre en dissolution, en employant pour réophores des lames de cuivre, afin que la perte d'électricité aux points où cette électricité change de conducteur fût la plus petite possible. Le liquide était contenu dans une auge de bois, construite avec soin et vernie intérieurement; au-dessus de cette auge, et parallèlement à son axe, était disposée une règle de bois portant une échelle millimétrique. L'une des lames de cuivre plongeait dans l'auge à demeure ; l'autre était suspendue à un petit chariot mobile sur la règle divisée, de telle sorte qu'elle plongeât toujours d'une égale quantité dans le liquide. La pile était formée d'un seul élément de Daniel, et se composait d'un vase de terre poreuse, dans lequel plongeait un zinc amalgamé, et autour duquel était extérieurement une lame de cuivre ; enfin, les liquides électromoteurs consistaient en sulfate de cuivre toujours maintenu à l'état de saturation, et en chlorure de sodium renouvelé constamment et d'une manière uniforme. Cette précaution est importante, parce que les expériences dont je vais faire connaître les résultats sont longues, et il est nécessaire que pendant toute leur durée l'activité de la pile reste, autant que possible, constante et de même nature. Si le courant électrique doit être

assimilé aux rayons de chaleur et de lumière, le coefficient de transmissibilité des rayons électriques doit varier d'un rayon à un autre pour une même substance; et d'un autre côté lorsque l'intensité d'une pile varie, rien n'indique que le courant auquel elle donne naissance reste semblable à lui-même; il faut donc empêcher, autant qu'on le peut, ces variations de se produire.

Pour m'assurer que cette condition était remplie, après avoir mesuré l'intensité du courant correspondant à une certaine longueur de la colonne liquide, je ramenais toujours les réophores à une distance normale. Or, dans cette circonstance, l'intensité du courant a toujours été trouvée sensiblement constante, comme on peut le voir dans le tableau suivant.

Tableau A.

Distances des réophores.		Angles de déviation.	
	100		66°,10′
280		20° »	
	100		66,5
280		20 »	
	240		23,30
280		20 »	
	250		22,30
280		20 »	
	260		21,35
280		20 »	
	270		20,50
280		20 »	
	290		19,15
	300		18,35
280		19°,55′	
	310		18, »
	320		17,25
280		20 »	
	330		16°,55′
	310		16,30
280		19°,55′	
	350		15,50
	360		15,25
280		19,50	
	390		14,5
	400		13,45
280		19,50	
	450		12,10
	500		10,55
280		19,50	
	550		9,55
	600		9 »

La boussole dont je me suis servi est une boussole des sinus, pouvant donner aisément le douzième du degré, et montée avec quatre fils. Les huit extrémités de ces fils étaient soudées à autant de petites lames de cuivre fixées sur une planche, et à

l'aide de petites pinces métalliques on pouvait faire passer le courant dans 1, 2, 3 ou 4 de ces fils placés bout à bout, de manière à donner à l'appareil des degrés variables de sensibilité. Il était nécessaire d'agir ainsi, afin que les variations dans l'intensité du courant fussent mesurées avec un assez grand degré d'exactitude pour toute la longueur de la colonne liquide. Ma boussole des tangentes eût été beaucoup plus commode en ce que les deux tableaux *C* et *B*, qui restent isolés, auraient pu être renfermés dans un seul embrassant une plus grande étendue ; mais elle n'est pas encore achevée.

Les nombres suivants sont la moyenne de trois expériences chacun; cependant dans le tableau *C* j'ai transcrit une des séries telle que je l'ai obtenue, pour montrer combien les moyennes diffèrent peu des nombres qui les ont fournies.

Tableau B.

Le courant passe dans un des fils du galvanomètre.

Distance des reophores.	Déviation moyenne observée.	Force correspondante.	Résistance de la pile.
45	72°,44′	954,47	7,90
50	60,43	872,05	7,78
60	48,1	743,25	7,66
70	40,21	647,31	7,90
80	35,5	574,43	8,13
90	31,7	516,81	8,32
100	28,5	470,76	8,59
110	25,32	431,31	8,68
120	23,32	398,18	8,62
130	21,40	369,20	8,38
140	20,5	343,39	8,31
150	18,45	321,43	8,25
160	17,30	301,21	8,28
170	16,34	285,16	8,13
180	15,39	269,63	8,05
190	14,54	255,67	8,05
200	14,5	243,33	8,07
210	13,30	232,30	8,01
220	12,44	221,91	7,99
230	12,11	212,54	7,58
280	10,1	174,01	

Pour m'assurer si la loi de Mr. Pouillet est applicable aux liquides, j'ai calculé la résistance d'après la méthode de ce physicien, en comparant les nombres de la quatrième colonne du tableau *B* successivement avec le premier nombre de cette colonne. On sait que la loi dont il s'agit suppose que cette résistance reste constante : or, on voit dans la dernière colonne du tableau précédent, que cette constance n'est pas parfaite. La résistance va d'abord en augmentant de 7,90 à 8,68, puis à partir de là elle décroît régulièrement jusqu'à 7,58.

Dans le tableau suivant elle continue encore à décroître d'une manière très-régulière.

Tableau C.

Distance des réophores.	Déviation observée.	Déviation moyenne.	Force correspondante.	Résistance de la pile.
100	66°,5′	66°,5′	914,13	8,30
240	23,30	23,30	398,73	8,06
250	22,30	22,30	582,79	7,74
260	21,35	21,35	367,85	7,71
270	20,50	20,45	354,56	7,66
280	20,5	20	342,12	7,69
290	19,40	19,43	330,70	7,65
300	19,20	19,20	320,85	7,70
310	18, »	18,3	309,84	7,51
320	17,30	17,32	300,01	7,40
330	16,55	16,55	290,99	7,37
340	16,25	16,24	282,56	7,26
350	15,55	15,55	274,28	7,28
360	15,30	15,29	266,97	7,09
»	»	»	»	»
»	»	»	»	»
390	15,15	15,17	246,53	7,00
400	13,95	13,97	240,32	6,82
450	12,20	12,18	214,35	6,63
500	11,5	11,4	192,40	6,49
550	10,5	10,5	174,94	6,39
600	9,15	9,14	169,38	

La diminution de la résistance de la pile est, comme on voit,

très-sensible, et d'ailleurs la régularité du phénomène ne laisse aucun doute à cet égard.

Quelles conclusions pouvons-nous tirer de là? Ou bien que le liquide devient de moins en moins bon conducteur du courant à mesure que celui-ci se trouve plus affaibli par son passage à travers une étendue plus grande de ce liquide, ce qui serait contraire à la loi de Pouillet, et à plus forte raison aux idées de de la Rive; ou bien que la résistance de la pile varie réellement.

La résistance de la pile se compose ici de celle que le courant éprouve dans son passage à travers les liquides électromoteurs, les conducteurs métalliques, et de ceux-ci aux premiers ou réciproquement. Or, si la loi de Mr. Pouillet est vraie pour le sulfate de cuivre contenu dans l'auge, elle le sera aussi pour le sulfate de cuivre et probablement encore pour le chlorure de sodium de la pile, ainsi que pour les conducteurs métalliques. Il n'y a donc que les pertes dues aux changements de conducteur qui puissent éprouver des variations. La suite de ce travail montrera que très-probablement c'est à cette dernière cause qu'il faut attribuer le désaccord entre mes résultats et la loi de Mr. Pouillet, en sorte que l'on peut considérer celle-ci comme vérifiée sensiblement pour les colonnes de sulfate de cuivre.

Ce résultat me paraît difficile à comprendre dans l'hypothèse de l'hétérogénéité des courants électriques, et peu favorable à la théorie qui attribue les phénomènes électriques à des mouvements vibratoires, quoiqu'il ne lui soit pas entièrement contraire. On semblait cependant tout naturellement conduit à cette théorie par des expériences remarquables de de la Rive, desquelles ce physicien conclut qu'un courant magnéto-électrique trouve un passage facile par certaines longueurs d'un même fil métallique qui sont entre elles dans le rapport des nombres 1, 3, 5...., et un passage difficile, au contraire, par

des longueurs comprises entre les premières et représentées par les nombres 2, 4, 6, etc.

J'avais cru reconnaître à Saint-Etienne une propriété analogue dans les courants hydro-électriques ; mais l'amplitude des oscillations était très-faible, et l'aiguille de la boussole dont je me servais était suspendue sur un pivot en acier, en sorte que le frottement qui en résultait pouvait altérer les résultats. J'ai donc repris ces expériences depuis que je suis à Rouen, avec un instrument plus précis, et en opérant de manière à rendre le plus sensibles possible les variations dans l'intensité du courant. Le courant se partageait entre deux colonnes de sulfate de cuivre, dont l'une avait une longueur constante, tandis que l'autre variait dans la sienne ; les deux courants partiels passaient ensuite en sens contraire dans les deux fils d'un galvanomètre des sinus à double fil. Voici les résultats que j'ai obtenus. Chaque nombre est la moyenne d'au moins trois expériences.

Tableau D.

Distance des réophores.	Déviations correspondantes.	Forces correspondantes.	Différences premières.	Différences secondes.
55mm	—30°,7′	—508,89	131,59	3,26
60	—22,2	—377,30	128,33	16,08
65	—14,5	—248,97	112,25	6,07
70	— 7,11	—136,72	106,18	10,34
75	— 1,9	— 30,54	95,84	6,75
80	3,9	65,30	89,69	9,42
85	8,11	154,99	80,27	1,00
90	13,8	235,26	79,27	0,87
95	18,4	314,53	79,60	4,64
100	22,7	384,13	65,96	1,01
105	26,9	458,09	64,95	6,25
110	31 »	515,04	59,70	
115	35,1	571,74		

Tableau E.

Distance des réophores.	Déviations.	Forces correspondantes.	Différences.
140	18°,6′	317,29	20,57
145	17,3	296,54	22,30
150	15,11	274,24	21,04
155	14,8	253,20	23,60
160	13,4	229,60	17,43
165	12,2	212,17	23,79
170	10,11	189,38	18,60
175	9,10	170,78	17,23
180	1,10	153,75	21,15
185	7,8	132,40	17,75
190	6,7	114,65	18,70
195	5,6	95,95	17,50
200	4,6	78,45	17,50
205	3,6	60,95	12,97
210	2,9	47,98	15,99
215	1,10	31,99	
225			

Tableau F.

Distance des réophores.	Déviations.	Forces correspondantes.	Différences.
220	—1°,5′	18,91	16,0
225	0,10	2,91	12,09
230	—0,35	— 10,18	15,00
235	—1,20	— 25,18	11,17
210	—2,5	— 56,25	13,08
245	—2,50	— 49,43	11,52
250	—3,30	— 60,95	13,16
255	—4,15	— 74,11	11,59
260	—4,55	— 85,70	11,70
265	—5,35	— 97,40	11,49
270	—6,15	—108,87	10,11
275	—6,50	—118,98	11,53
280	—7,30	—129,51	

Nous voyons apparaître des traces d'oscillation, mais elles sont extrêmement faibles, bien que nous soyons placé dans les meilleurs conditions possibles pour les accroître. Je regrette de n'avoir pas encore pu répéter les expériences de de la Rive, en mesurant l'intensité du courant non par l'élévation de tempé-

rature d'un thermomètre de Bréguet, mais à l'aide d'un galvanomètre. Je me propose aussi de faire ces mêmes expériences sur les courants thermo-électriques.

Désirant savoir jusqu'où s'étendraient pour les autres liquides les écarts que nous avons obtenus entre l'intensité du courant qui traverse une longueur déterminée de sulfate de cuivre et l'intensité correspondante déduite de la formule de Pouillet, j'ai comparé les conductibilités du sulfate de cuivre à divers degrés de saturation et celle du sulfate de zinc.

A cet effet, je plaçais la solution sur laquelle je voulais expérimenter, dans une auge triangulaire graduée et semblable à l'auge à échelle graduée dont nous nous sommes servi dans nos premières expériences; cette dernière contenait une dissolution normale de sulfate de cuivre. Le courant de la pile se partageait entre ces deux colonnes, et de là les deux courants partiels passaient, en sens contraire, dans les deux fils d'un galvanomètre bifil. La longueur de la colonne de la dissolution normale était toujours telle que ces deux courants partiels fussent égaux ; en sorte que l'on mesurait l'effet produit sur le courant par une longueur donnée de la dissolution soumise à l'expérience, par la longueur de la dissolution normale qui produisait sur le courant le même effet.

Voici les résultats obtenus dans cette série d'expériences.

Tableau G.

Longueurs communes aux diverses dissolutions.	Longueurs correspondantes de la dissolution normale. Dissolution à 0,01.	à 0,005.	à 0,0025.	à 0,00125.
25	32,7	37,6	52,5	82,2
50	65,3	76,7	106,4	170,1
100	131,2	153,4	216,5	340,9
175	230,3	270,9	385,5	629,5
250	328,9	390,6	556,7	»

Ces nombres sont tous les moyennes de trois ou quatre expériences. Nous ferons remarquer aussi qu'ils ne représentent pas les longueurs réelles des colonnes liquides, mais que,

comme dans toutes les autres expériences semblables, on avait donné à ces colonnes d'abord des longueurs telles que les deux courants partiels fussent égaux ; puis, qu'on avait augmenté la longueur des colonnes des dissolutions soumises à l'expérience des quantités inscrites dans la première colonne du tableau *G*, et que celles qui sont inscrites dans les quatre autres représentent les allongements correspondants de la solution normale. Cette précaution a toujours été prise afin d'éliminer, autant que possible, les pertes dues aux changements de conducteur.

Si maintenant nous divisons les nombres contenus dans la première colonne verticale du tableau *G* par les nombres contenus dans les quatre autres, nous obtenons les résultats suivants.

Tableau H.

Dissolution à 0,01.	à 0,005.	à 0,0025.	à 0,00125.
0,765	0,659	0,474	0,304
0,766	0,657	0,470	0,294
0,762	0,656	0,462	0,293
0,760	0,646	0,454	0,278
0,760	0,640	0,449	»

Si le rapport entre les conductibilités des diverses dissolutions de sulfate de cuivre restait constant, ces nombres devraient rester constants pour chaque dissolution : or, cela n'est pas ; ils vont en diminuant tous, et d'autant plus rapidement que la dissolution est plus étendue.

Un résultat tout à fait analogue a été présenté par le sulfate de zinc en dissolution, comme on peut le voir par le tableau suivant.

Tableau I.

Longueurs de la colonne de sulfate de cuivre.	Longueurs correspondantes de la colonne de sulfate de cuivre.	Longueurs calculées.
200	310,3	310,3
100	156,3	155,1
50	86,1	77,5

C'est en divisant le nombre 310,3 par les nombres 1, 2, 4, que nous avons obtenu les nombres de la troisième colonne de ce tableau.

Non-seulement le rapport des conductibilités de deux substances varie avec leur longueur, mais il varie encore avec l'origine du courant. Pour le démontrer, j'ai fait passer le courant provenant alternativement de deux piles, une de Bunsen et une de Daniel ordinaire, simultanément au travers de deux colonnes liquides, l'une de sulfate de cuivre, l'autre de sulfate de zinc. Les deux courants partiels ainsi formés passaient ensuite en sens contraire dans un galvanomètre bifil, et je faisais varier la longueur de la colonne de sulfate de cuivre, de manière que l'aiguille de la boussole restât toujours dans le méridien magnétique. Voici les moyennes de plusieurs observations.

Tableau K.

Longueurs du sulfate de zinc		45^{mm}	110	288	300
Longueurs correspondantes du sulfate de cuivre.	avec la pile Bunsen.	86	211, »	514, »	535,»
	avec la pile Daniel.	79	205,85	511, »	532,5
	Différences.	7, »	5,15	3, »	2,5

On peut remarquer cependant que les différences vont en s'affaiblissant à mesure que les colonnes s'allongent.

Il résulte de ce qui précède que si la dissolution normale est soumise à la loi de Pouillet, la dissolution du sulfate de zinc ne le sera pas; car si elle l'était, $i = \frac{A}{l+c}$ représentant l'intensité du courant qui traverse le sulfate de cuivre, l'intensité du courant qui traverse le sulfate de zinc pourrait être représentée par une formule semblable $i' = \frac{A'}{l'+c'}$, et on devrait avoir en outre

(10) $$\frac{A}{l+c} = \frac{A'}{l'+c'}.$$

A, *C*, *A'*, *C'* étant des quantités positives : or, si dans l'expression (10) nous faisons successivement

$$l = 310{,}3\,; = 156{,}3\,; = 86{,}1$$
$$\text{et } l' = 200 \text{ »}\,; = 100 \text{ »}\,; = 50$$

valeurs tirées du tableau *I*, nous arrivons, pour déterminer *C* et *C'*, aux deux équations

$$(11) \qquad \begin{array}{l} c.\ \ 492 \text{ »} - c'.\,300 = 690 \\ c'.\,448{,}4 - c'.\,300 = 3410 \end{array}$$

qui donnent pour *C* des valeurs négatives, ce qui est absurde.

Le sulfate de zinc paraît donc ne pas suivre la loi de Mr. Pouillet ; mais nous répéterons ici l'alternative que nous avons déjà posée en discutant nos premières expériences sur le sulfate de cuivre. Cette inexactitude apparente de la loi de Mr. Pouillet tient-elle à ce que le sulfate de zinc n'est réellement pas soumis à cette loi ? Tient-elle à la perte variable d'électricité aux changements de conducteur ? Tient-elle enfin à ces deux causes ?

Afin de résoudre cette question, s'il est possible, j'ai cherché comment varient les pertes d'électricité aux changements de conducteur. Mais c'est ici que je sens surtout la nécessité de préciser l'intensité et la nature des courants sur lesquels on opère. Mes résultats sont exacts ; mais qu'un autre physicien répète mes expériences, ou que je les répète moi-même dans d'autres conditions, et les nouveaux résultats obtenus pourront différer considérablement de ceux que j'ai indiqués ou qu'il me reste à faire connaître. Ce ne sont donc pas des lois que je me propose d'établir ici ; je me contente de faire connaître un point très-important de l'électricité mal étudié jusqu'ici, de poser les bases d'un travail très-étendu, qui, pour être complet et pour n'être pas trop au-dessous de quelques-uns des travaux récents en physique, exige beaucoup de soins, plusieurs années de recherches assidues, tandis que je n'ai pu encore y consa-

crer que quelques semaines, dans des conditions peu favorables.

Mr. de la Rive a fait plusieurs séries d'expériences pour comparer les pertes d'électricité aux changements de conducteur dans des circonstances variables, et des résultats qu'il a obtenus il a cru pouvoir conclure :

« Que la perte dépend de la nature relative des substances solide et liquide que le courant traverse quand il change de conducteur ;

« Qu'en général, une augmentation de surface facilite la transmission du courant ; que l'augmentation d'intensité, qui résulte de la plus grande étendue de la surface, croît dans un rapport plus grand que la surface elle-même quand le courant est faible ; qu'elle croît dans un rapport moindre quand le courant est fort. »

Avant de discuter ces résultats, je dirai quelques mots de la méthode de Mr. de la Rive, qui me paraît défectueuse [1].

Mr. de la Rive se servait de petits flacons à large col contenant les liquides conducteurs et fermés par des bouchons. Un de ces bouchons portait deux lames de platine de section 1, disposées parallèlement entre elles à une distance l'une de l'autre, toujours la même et que je désignerai par a. Ces deux lames plongeaient complétement dans le liquide conducteur, et formaient un appareil que j'appellerai A. Un autre bouchon portait deux autres lames de platine disposées à une égale distance l'une de l'autre, mais seulement de section $\frac{1}{3}$, et formant avec le flacon rempli d'eau acidulée dans lequel elles plongeaient un appareil que j'appellerai B. Mr. de la Rive réunissait trois appareils B, de telle sorte que le courant qui les traversait se partageait entre eux trois. Or, en interposant succes-

[1] Mr. Marié fait une erreur en décrivant mon procédé ; je ne me servais pas de flacons, mais bien de petites auges en verre, de sorte que l'étendue du liquide traversé par le courant était bien la même dans les deux appareils. (A. DE LA RIVE.)

sivement l'appareil *A* et 3 *B* sur la route d'un même courant, il vit que tantôt l'un, tantôt l'autre conduisait le mieux l'électricité.

Or, dans ces deux appareils, la condition qui devait varier est la seule qui restait constante. En effet, la surface des réophores est évidemment la même dans les deux cas, sauf les petites surfaces latérales auxquelles on donne naissance en coupant une lame en plusieurs morceaux. D'un autre côté, au contraire, les courants ne vont pas en ligne droite d'un réophore à l'autre, ils s'enflent toujours un peu, et se répandent dans presque tout le liquide dans lequel plongent les réophores; en sorte que l'étendue du liquide conducteur traversé par le courant n'est pas la même dans les deux appareils. Il en résulte deux effets qui se contrarient; la largeur du conducteur liquide traversé par le courant étant plus grande dans l'appareil 3 *B* que dans l'appareil *A*, le courant tend à être moins diminué dans le premier que dans le second; mais aussi les courants partiels qui s'écartent de la ligne droite dans le conducteur liquide, ont par cela même une plus grande étendue de ce conducteur à traverser que ceux qui se propagent en ligne droite; et comme ces premiers courants sont plus nombreux dans l'appareil 3 *B* que dans l'appareil *A*, cette nouvelle cause agit en sens contraire de la précédente. Il pourrait donc se faire que l'une l'emportât sur l'autre pour une certaine intensité de courant, et que le contraire eût lieu pour une autre intensité de courant. Il faut ajouter à cela encore que les surfaces étroites des réophores sont plus étendues, que leurs parties anguleuses sont plus nombreuses dans l'appareil 3 *B* que dans l'appareil *A*, et que cette nouvelle cause pourrait très-bien influer aussi sur les résultats.

J'ai cherché à éviter ces diverses causes d'erreur en opérant de la manière suivante:

Le courant qui émanait d'un couple de la pile de Bunsen se partageait en deux courants partiels, dont l'un passait dans

l'auge à échelle graduée *A*, qui nous a déjà servi plusieurs fois; l'autre courant partiel passait dans une petite auge *B* semblable à la précédente, mais plus courte; puis de là dans une deuxième auge *C*, dont la section était semblable à celle de la première, mais beaucoup plus grande. Ces deux courants partiels passaient ensuite en sens contraire dans les deux fils d'un galvanomètre différentiel avant de retourner à la pile.

Je réglais d'abord la position du réophore mobile dans l'auge *A*, de telle sorte que les deux courants partiels fussent parfaitement égaux; puis j'interposais dans l'auge *B* ou dans l'auge *C* un diaphragme qui occupait toute la section de la colonne liquide, et j'écartais les réophores de *A* de manière à rendre les deux courants partiels égaux; la résistance du diaphragme était donc mesurée par la longueur d'une colonne de sulfate de cuivre qui produisait une même diminution du courant ou opposait un égal obstacle à sa propagation. Or, j'ai toujours trouvé que, pour les diaphragmes en cuivre plongeant dans une dissolution saturée de sulfate de cuivre, cette longueur est sensiblement en raison inverse de la section de la colonne liquide interrompue. Cette méthode toutefois ne m'a pas encore paru assez exacte, parce que la résistance d'un diaphragme dépend non-seulement de son étendue et de sa nature, mais encore de l'état de sa surface, et je ne pouvais pas m'assurer que cet état était rigoureusement le même dans des diaphragmes de grandeurs différentes. J'ai alors remplacé l'auge *C* par 2, 3, 4, 5 auges de même section que *B*; tous mes diaphragmes avaient dès lors même grandeur, et en les plaçant successivement dans l'auge *B*, je pouvais évaluer la résistance de chacun d'eux.

Voici les résultats que j'ai obtenus dans cette seconde série d'expériences avec des lames de cuivre plongeant dans le sulfate de cuivre :

Tableau L.

Résistance des diaphragmes séparément placés dans l'auge B.	Moyenne.	Résistance de ces deux diaphragmes placés en même temps dans deux auges C.
44,5	44,8	22,5
45,1		

Tableau M.

Résistance des diaphragmes séparément placés dans l'auge B.	Moyenne.	Résistance de ces trois diaphragmes placés en même temps dans deux auges C.
40,2		
40,7	40,6	14, »
40,9		

Tableau N.

Résistance des diaphragmes séparément placés dans l'auge B.	Moyenne.	Résistance de ces cinq diaphragmes placés en même temps dans cinq auges C.
37,1		
37,7		
37,5	37,4	8, »
36,9		
37,8		

On voit donc que ces diaphragmes se sont comportés, relativement à leur étendue, exactement comme une longueur déterminée d'une colonne de sulfate de cuivre, dont la section varierait dans le même rapport. Un phénomène tout différent se présente lorsque le diaphragme est en zinc et plongé dans une dissolution de sulfate de zinc.

Tableau P.

Résistance des diaphragmes séparément placés dans l'auge B.	Moyenne.	Résistance de ces trois diaphragmes placés en même temps dans trois auges C.
28,7		
30,7	30,3	29,7
31,5		

Le résultat est encore différent, en opérant sur des diaphragmes de cuivre plongeant dans des dissolutions de sulfate de zinc.

Tableau Q.

Résistance des diaphragmes séparément placés dans l'auge B.	Moyenne.	Résistance de ces diaphragmes placés simultanément dans trois auges C.
48,9		
49,4	49,3	22, »
49,6		

Si, au lieu de faire varier la surface des diaphragmes, nous en faisons varier le nombre, nous obtenons des résultats analogues. Ainsi, en opérant sur le sulfate de cuivre en dissolution et des réophores de cuivre, nous voyons que la diminution qu'ils font naître dans l'intensité du courant est exactement la même que celle qui résulte de l'addition successive de longueurs constantes d'un même conducteur, d'une colonne de sulfate de cuivre, par exemple; tandis que des lames de zinc interposées dans du sulfate de zinc, présentent un phénomène différent.

Pour m'en assurer, j'ai supprimé les auges *C*; puis après avoir choisi dix diaphragmes et marqué la place que chacun d'eux devait occuper dans l'auge *B*, lorsqu'ils y seraient tous réunis, je les y ai disposés successivement et isolément chacun à sa place, afin de mesurer leur résistance en fonction de la colonne de sulfate de cuivre contenu en *A*, ce qui m'a fourni les nombres contenus dans la première colonne du tableau suivant *R*. Cela fait, j'en ai placé 1, 2, 3, 4,....... 10 dans l'auge *B*, chacun à sa place, en mesurant, après l'addition de chacun, la quantité dont il fallait allonger la colonne *A*, pour que les deux courants restassent égaux, ce qui m'a fourni les nombres de la seconde colonne de ce tableau.

Tableau R.

Résistance de chaque diaphragme pris isolément.	Résistance des diaphragmes ajoutés successivement.
19,3	19
19,7	19,8
19,»	19,4
18,7	18,9
19,4	19,5
19,6	19,2
19,2	19,4
19,5	19,4
18,8	19,»
19,»	19,1

Au reste, l'obstacle opposé par le diaphragme dépend de diverses circonstances qu'il est difficile d'apprécier pour le moment. Ainsi, par exemple, cet obstacle varie non-seulement avec la nature du liquide conducteur, celle du diaphragme, l'état de sa surface, comme l'a démontré de la Rive, mais encore avec la distance de ce diaphragme aux pôles de la pile, ou aux extrémités de la colonne du conducteur liquide. Dans le cas de plusieurs diaphragmes, leur résistance totale dépend de leur distance réciproque, et, s'ils sont de nature différente, de l'ordre dans lequel ils sont rangés.

Je vais citer à ce sujet quelques-uns de mes résultats.

Tableau S.

I. Diaphragme de cuivre dans une colonne de sulfate de zinc de 325^{mm} de longueur.

Distance du premier diaphragme à l'extrémité de la colonne.	Résistance correspondante des diaphragmes.
5^{mm} de l'extrémité négative.	81^{mm}
10 id. id.	74,5
40 de l'extrémité positive.	97,8

II. Un second diaphragme a été placé à demeure au milieu de la colonne.

Distance du premier diaphragme à l'extrémité de la colonne.	Résistance correspondante des diaphragmes,
à 40^{mm} de l'extrémité négative	122,6
40 de l'extrémité positive	133,»
Très-près du second diaphragme.	117

III. Le second diaphragme a été remplacé par un diaphragme de zinc.

Position relative des diaphragmes.	Résistance des diaphragmes.
Diaphragme cuivre du côté du pôle positif.	67,6
Diaphragme zinc du côté du pôle positif.	84,6

Dans le tome XXXIX des *Annales de Physique et de Chimie*, on trouve ce fait curieux signalé par de la Rive, qu'en chauffant fortement avec une lampe à alcool le réophore négatif, de manière qu'il ait dans le liquide la température la plus haute possible, l'intensité du courant transmis se trouve augmentée

de plus du double, tandis que cette intensité reste la même, si c'est le réophore positif dont on élève la température.

Si nous revenons maintenant sur les résultats précédents, nous y trouverons une explication très-simple des variations dans les rapports de conductibilité des diverses substances que nous avons constatées et consignées dans nos tableaux *H*, *I*, *K*. En effet, un diaphragme de cuivre placé dans une dissolution saturée de sulfate de cuivre, se comportant par rapport au courant comme une longueur déterminée de cette dissolution de sulfate de cuivre, les pertes d'électricité au passage du cuivre dans la dissolution ou réciproquement, ne peuvent nuire à la vérification de la loi de Mr. Pouillet pour le sulfate de cuivre. Mais la perte d'électricité occasionnée par un diaphragme de zinc décroissant moins rapidement avec l'intensité du courant que cela n'a lieu pour le diaphragme de cuivre, la perte qui a lieu au passage du courant du zinc qui a servi à nos expériences au liquide conducteur, correspondra à une longueur de colonne de sulfate de cuivre, croissant à mesure que l'intensité du courant transmis décroîtra par l'accroissement de longueur de ce conducteur.

Quoi qu'il en soit, on conçoit combien il est difficile, dans l'état actuel de la science, d'avoir une mesure exacte des conductibilités des corps pour l'électricité; aussi il n'est pas un sujet dans la physique sur lequel les physiciens se soient montrés plus en désaccord les uns avec les autres. Les divergences que l'on trouve dans leurs résultats sont assez grandes pour que je les rappelle ici avec le nom de l'expérimentateur qui les a déterminés.

	DAVY.	BECQUEREL.	CUMMING.	HARRIS.
Platine	100	100	100	100
Or	400	571	166	333,5
Argent	600	447	840	500
Cuivre	550	609	476	500
Etain	109	94	115	83,5
Plomb	380	50	80	41,5
Fer	82	95	116	100
Zinc	»	174	253	166.

Non-seulement les conductibilités varient; mais l'ordre dans lequel les métaux se trouveraient rangés d'après leurs conductibilités, éprouve de notables modifications d'une série à une autre. Il existe à cela plusieurs causes : d'abord, les métaux employés par les divers observateurs n'étaient pas identiquement les mêmes, et des différences, même légères dans le degré de pureté des métaux, et même simplement dans leur état moléculaire, occasionnent des différences considérables dans leur conductibilité électrique ; mais une cause beaucoup plus importante est la diversité des méthodes employées.

Davy prenait des fils de même longueur et de diamètres égaux, et cherchait combien chacun d'eux pouvait décharger de plaques voltaïques construites à la Wollaston. Ces plaques étaient considérées comme déchargées complétement, lorsqu'en les faisant communiquer avec des fils de platine plongés dans de l'eau acidulée, ils ne donnaient naissance à aucune bulle de gaz.

Cumming opérait sur l'électricité thermique, et mesurait par les simples déviations de l'aiguille l'intensité du courant transmis, et en concluait la conductibilité des métaux.

Harris mesurait la chaleur produite par le passage de l'électricité au travers des conducteurs, procédé qui avait déjà été employé par Children.

Ces trois méthodes sont assez évidemment imparfaites pour que nous ne nous arrêtions pas à les discuter. Nous ferons observer seulement que l'on ne tenait aucunement compte de la perte d'électricité aux changements de conducteurs, et que cette cause pourrait presque expliquer à elle seule les différences qui nous occupent.

Le procédé de Mr. Becquerel est susceptible de beaucoup plus d'exactitude; il se servait d'un galvanomètre différentiel, et comparait la conductibilité des métaux à la conductibilité d'un métal constant dont il faisait varier la longueur. Cepen-

dant il ne s'y rendait pas indépendant non plus de l'électricité perdue aux changements de conducteurs, quoique dans son ouvrage il indique le moyen d'y parvenir.

De tout ce qui précède il résulte : que les modifications que l'électricité éprouve dans sa nature ou simplement dans son intensité, en traversant les conducteurs, sont encore très-imparfaitement étudiées ; qu'il y a là un immense sujet d'études longues et délicates, qui, conduites avec persévérance, avec sagacité et avec l'esprit de précision qui tend à s'introduire de plus en plus dans la science, devront conduire à des résultats importants. L'électricité présente actuellement un haut degré d'intérêt ; c'est une science toute jeune, et dont le champ est cependant déjà devenu immense ; c'est une contrée vaste et fertile qui promet d'amples moissons pour le philosophe ; mais une contrée dont la carte n'est pas faite, malgré le grand nombre des points qui en ont été explorés. Depuis quelques dizaines d'années les découvertes s'y sont succédé avec une rapidité extrême, et le nombre des faits qu'elle comprend est énorme ; mais malheureusement ces faits manquent pour la plupart de lien, et l'absence de tout moyen de contrôle, à cause de l'impossibilité de comparer entre elles les conditions dans lesquelles les phénomènes ont été observés, les limites dans lesquelles ils ont été étudiés, répand sur eux une espèce d'incertitude. Le premier besoin de la science serait donc une révision de tous les faits acquis, une discussion attentive des procédés de mesure et du degré de précision qu'ils comportent ; enfin, un rapprochement de ces faits qui permît d'en saisir les rapports, qui montrât les lacunes qu'il reste à remplir, et par suite la direction dans laquelle les recherches doivent être conduites. Ce travail, qui exigerait plusieurs années, serait d'une immense utilité pour la science, s'il était fait avec toute la précision qu'on apporte dans les recherches actuelles, et appuyé sur un nom illustré par des travaux antérieurs. Quant à moi, j'ai pensé que ce travail était indispensable à celui qui veut faire de l'é-

lectricité l'objet de méditations sérieuses, pour tâcher de découvrir les rapports que cet agent présente avec la chaleur, la lumière, et d'arriver à quelques notions certaines sur les forces moléculaires. C'est pour cette cause que je l'ai entrepris, et cela expliquera, je l'espère, la nature de cette Thèse, qui n'en comprend qu'une bien faible partie.

EXPÉRIENCES SUR LES PILES SÈCHES, par Mr. DELEZENNE [1]. (Extrait des Mémoires de la Société royale des sciences, de l'agriculture et des arts de Lille.)

Les piles sèches fournies par les marchands n'ont, en général, qu'une courte durée. J'en ai vu qui, deux mois après leur livraison, ne donnaient plus aucun signe d'électricité. Cela tient à leur mode de construction, car de celles que j'ai faites en 1815, il en est qui entretiennent encore aujourd'hui le mouvement d'un balancier horizontal, écartent de dix millimètres les pailles d'un électroscope et lancent de petites étincelles, visibles dans l'obscurité, à chaque contact des boules du balancier avec les timbres qui terminent les colonnes. A cette époque j'ai essayé diverses combinaisons dont les résultats sont insérés au *Journal de Physique*, 1816, tome LXXXII, pages 269... 449... Au moment de leur confection, des piles de 1500 paires, papier étamé et papier cuivré, ou papier étamé peint du côté nu

[1] Ce mémoire de Mr. Delezenne, quoique ancien, nous a paru devoir intéresser nos lecteurs, parce qu'il résume bien ce que peut fournir d'intéressant pour la science l'étude des piles sèches; appareil dont la théorie rentre actuellement tout à fait dans celle des piles hydro-électriques, et ne fournit plus, par conséquent, une objection contre la théorie électro-chimique de l'électricité voltaïque. (R.)

avec du noir de fumée délayé dans une colle animale, produisaient un écart de 7 à 8 millimètres dans les pailles d'un électroscope. Elles sont presque entièrement éteintes aujourd'hui. Pour les ranimer un peu et avoir pendant quelques heures un écart de 4 à 5 millimètres, il faut les exposer au soleil ou les chauffer, et bien sécher les cordons de soie qui les tendent. Les piles que j'ai couvertes d'une couche de soufre ou de résine ont perdu en peu de mois leur activité; les meilleures sont faites de papier étamé couvert au pinceau, sur la face nue, de peroxide de manganèse en poudre délayée dans une colle étendue d'un peu d'eau. Cette colle ou gélatine provient de pieds de bœuf; c'est la colle commune dont se servent les badigeonneurs. La pile commence et finit par une armure de laiton plus grande que le papier, afin que les cordons de soie, tendus par des nœuds coulants, ne touchent pas les couples stratifiés.

Du papier sec et chaud s'électrise très-bien par frottement. Dès qu'il est froid, il a déjà assez pris d'humidité à l'air pour devenir un peu conducteur. Collez sur les bords d'un cadre un papier fin et humide; quand il sera sec et tendu, observez le son qu'il fait entendre lorsqu'on heurte l'un des angles du cadre. Ce son devient plus grave si vous vous éloignez, même rapidement, d'un foyer, ou si vous passez d'un lieu sec à un lieu humide; il devient de plus en plus aigu à mesure que vous vous rapprochez du foyer ou du lieu sec. On peut s'assurer ainsi que l'état hygrométrique de l'air n'est pas le même dans toutes les parties d'une chambre un peu grande, bien que l'hygromètre à cheveu y reste stationnaire. Ainsi, il n'y a pas de pile en papier qui soit absolument sèche; c'est parce qu'il est toujours plus ou moins humide que le papier fait l'office de conducteur dans ces piles.

De préférence à l'huile, au miel, ou toute autre substance, j'ai choisi la colle animale, parce qu'étant hygrométrique elle entretient dans la pile une légère humidité, nécessaire à la circulation de l'électricité. Logique on non, ce choix m'a réussi

au delà de ce que j'espérais, puisque après 28 ans d'activité mes piles vivent encore. Cependant l'étain se corrode peu à peu; la pile mourra sans doute avant qu'il soit oxidé dans toute l'étendue de sa surface.

Ces piles, de 2016 carrés de 53 millimètres de côté, ne décomposaient pas l'eau, soit parce qu'ayant tardé à faire l'expérience, la circulation de l'électricité n'était plus assez rapide, soit parce que la quantité d'électricité, proportionnelle à la surface des éléments, était trop faible. Il me semblait qu'avec des éléments à plus grandes dimensions on aurait des piles qui se rapprocheraient davantage de celles de Volta; mais la dépense, l'incertitude du succès et la longueur du fastidieux travail manuel à exécuter m'ont arrêté jusqu'ici.

Les deux piles sèches que je viens enfin de monter avec du papier étamé, peint sur la face nue au peroxide de manganèse délayé dans la gélatine en fusion, ont chacune 2000 éléments rectangulaires de 318 millimètres de longueur sur 176 de largeur. Immédiatement après leur confection, ces piles font dévier l'aiguille aimantée; elles décomposent l'eau; elles donnent la saveur, l'éclair et la commotion. Ces résultats généraux ont été communiqués à la Société Philomatique et ont donné lieu, de la part de Mr. Peltier, à une réclamation de priorité. Dans mon éloignement et mon isolement, et à une époque où l'Académie des Sciences ne publiait pas de comptes rendus, je ne pouvais pas savoir que Mr. Peltier eût présenté à l'Institut, en juillet 1830, un mémoire qui renferme les mêmes résultats. Je devais d'autant plus rester dans l'ignorance de ce fait, que les traités de physique publiés depuis 13 ans n'en font aucune mention, et qu'au contraire ils s'accordent à dire que les piles sèches ne produisent ni commotion ni décomposition de l'eau. Mon siége était fait quand j'ai lu le passage suivant dans le traité de Mr. Becquerel [1] :

[1] Avant de m'engager dans les dépenses et les pertes de temps qu'en-

« .... Quoique ces appareils donnassent des étincelles au condensateur, on ne parvint jamais à produire, avec ces piles, ni décompositions ni effets calorifiques, toutes les fois que le nombre des éléments était considérable, comme dans la pile de Volta, parce que la circulation du fluide électrique s'y faisait trop lentement. En diminuant cependant le nombre des éléments, on parvient à décomposer l'eau, comme Mr. Peltier l'a prouvé dans ces derniers temps. Les piles de ce genre cessent de fonctionner au bout d'un certain temps, quand le papier a perdu toute son humidité. »

Il paraîtrait, d'après ce passage, que pour obtenir la décomposition de l'eau il faudrait que le nombre des éléments fût restreint et que le papier fût humide, tandis que je l'obtiens avec des piles de 2 et de 4000 éléments *secs ;* je dis *secs* dans l'acception ordinaire de ce mot, car une pile au papier n'est jamais chimiquement sèche.

D'après ce que tout le monde sait de la constitution des piles sèches, il est évident que l'humidité plus ou moins grande du papier doit avoir de l'influence sur les propriétés de ces piles, et c'est principalement cette influence et sa durée que je me proposais d'étudier avant d'en venir à la construction définitive de mes grandes piles. Il est probable, par le passage cité, que Mr. Peltier a fait cette étude; mais comme il peut n'avoir pas tout vu, à en juger par ce qui précède, et comme d'ailleurs il n'est jamais inutile de confirmer, par de nouvelles observations, des faits déjà obtenus, je donnerai le détail de mes expériences.

J'ai fait usage d'un multiplicateur à 840 tours de fil fin. Le

traînait l'exécution de mon projet, j'avais revu ce qu'on a écrit sur les piles sèches, et notamment ce que Mr. Becquerel en dit dans son second volume, où il ne fait aucune mention du travail de Mr. Peltier. Il était trop tard lorsqu'un ami, qui m'avait beaucoup aidé dans la préparation du papier et de quelques appareils, m'a fait remarquer ce passage qu'il a trouvé dans le premier volume, à la page 166.

système des deux grosses aiguilles compensées, longues de 62 millimètres, fait 6 oscillations simples en une minute.

Les papiers préparés pour les expériences sont mis entre deux armures de laiton plus grandes que les feuilles. Chaque armure a un appendice où peut se visser un petit godet de laiton, contenant un peu de mercure, pour faciliter les communications avec la bascule d'Ampère, liée au multiplicateur, ou avec l'appareil à décomposer l'eau. Celui-ci est un verre conique coupé à la base fermée avec un liége que traversent l'un près de l'autre deux tubes capillaires où sont introduits deux fils de platine dont les extrémités seulement sont visibles, tout le reste étant couvert de mastic. On peut, au besoin, adapter deux petites cloches pour recueillir les gaz.

Une feuille de papier étamé, longue de 178 millimètres, large de 158, est séchée au soleil, puis mise entre deux armures. L'aiguille du multiplicateur reste à 0°. Ce papier est ensuite déposé par la face nue sur le carrelage d'une salle non voûtée, située au nord, et où l'hygromètre se tient assez constamment entre 85° et 100°. Ce papier, relevé au bout de 15 minutes et essayé de nouveau, fait dévier l'aiguille de 21 degrés, et dans un sens qui annonce que l'étain, par son contact avec le laiton de l'armure, prend l'électricité positive, et le laiton l'électricité négative. Plus la feuille est humide, plus l'aiguille est poussée loin; elle est même chassée à près de 180°, quand la feuille est moite pour avoir été déposée sur un linge tendu et imbibé d'eau. En opérant de même avec une pareille feuille de papier blanc, peinte d'un côté au peroxide de manganèse, on a des résultats analogues; le peroxide prend l'électricité résineuse, et le laiton l'électricité vitrée.

Une pareille feuille de papier, étamée d'un côté et peinte de l'autre au manganèse, donne lieu à une forte déviation quand on la place, étant moite d'humidité, entre les deux armures. L'armure en contact avec l'étain est résineuse, et celle en contact avec le peroxide est vitrée. Toute déviation disparaît si la feuille est mise entre deux papiers blancs humides.

Cela posé, entre les deux armures mettons une pile de papier étamé, peint au manganèse du côté nu ; l'aiguille déviera par l'action de la pile et par l'action des couples extrêmes, formés d'un côté par le laiton et le manganèse, et de l'autre par le laiton et l'étain. L'action de ces deux couples, jointe à l'action de la pile, donnera lieu à une déviation trop grande. Pour avoir la déviation due exclusivement à la pile, il faut mettre celle-ci entre deux papiers blancs un peu humides ; cette précaution est indispensable quand il s'agit, par exemple, de reconnaître si une pile est capable de décomposer l'eau.

Je désignerai toujours les piles employées aux diverses expériences par le nombre de plaques qui les composent. Quand elles seront entre deux papiers blancs, le nombre des couples voltaïques en action sera égal au nombre des plaques diminué d'une unité ; dans le cas contraire le nombre des couples serait égal au nombre des plaques augmenté d'une unité.

Afin de multiplier les points de contact entre les substances électromotrices d'une pile, il est souvent utile d'exercer une pression à l'aide d'un poids plus ou moins considérable déposé sur l'armure supérieure et convenablement isolé ; j'indiquerai souvent ce poids, sans tenir compte de celui de l'armure. Si la pile est serrée par des cordons de soie, ceux-ci auront été tendus et arrêtés pendant que le poids pressait la pile.

Dans toutes les manipulations autres que la stratification voltaïque, les plaques empilées se touchent par les faces homogènes ; par ce moyen la pile est rendue inactive avant et après l'expérience projetée.

Les plaques trop recoquillées pour être utilement employées sont mises en presse, pendant huit ou quinze heures, entre des cartons lisses et secs. Les piles sont isolées sur un large support en bois ayant une cavité profonde d'un centimètre, et dans laquelle on a coulé du soufre.

J'en viens enfin aux expériences.

On a fait cinquante couples avec cinquante lames de papier

cuivré, de 318 millimètres sur 176, et cinquante lames pareilles de papier étamé. Dans cette pile les couples sont séparés l'un de l'autre par deux épaisseurs de papier *très-sec*, et les armures par une seule épaisseur ; l'aiguille n'a pas dévié. On a alors étalé ces lames sur le carrelage dont j'ai parlé plus haut. Après une demi-heure, et sans que l'œil ou le toucher ait pu reconnaître le peu d'humidité que le côté nu avait prise au sol, on a stratifié ; l'aiguille a été chassée à 21° et s'est fixée à 12°, en indiquant, conformément à ce qui précède, que l'étain prenait l'électricité vitrée; une pression exercée sur l'armure supérieure fait augmenter la déviation. Les cent lames ont été ensuite déposées sur une toile très-humide étendue sur le carrelage. Ces lames empilées ont été, pendant deux heures, légèrement comprimées entre deux planches, afin que l'humidité eût le temps de se répartir plus uniformément. Enfin, on a stratifié, et cette pile de cent paires a immédiatement décomposé l'eau de puits ; on avait au pôle négatif une série de petites bulles d'hydrogène, et au pôle positif des bulles moins nombreuses de gaz oxigène ; aucune pression autre que celle du poids de l'armure supérieure (1359 grammes) n'a été exercée. La pile était moite sans être molle, elle donnait à l'aiguille du multiplicateur une déviation fixe de 75°. Au bout de trois quarts d'heure, la décomposition, qui s'affaiblissait, était presque nulle, sans que l'humidité de la pile ait pu sensiblement diminuer. On a alors démonté et remonté la pile en changeant les faces de contact; pendant cette opération la pile a pu et dû perdre un peu d'humidité, cependant elle était encore moite et a immédiatement décomposé l'eau ; l'aiguille s'est encore fixée à 75°. Au bout de 25 minutes, la décomposition était de nouveau presque nulle. Au condensateur de marbre chaud on avait assez d'électricité pour écarter de 10 millim. les pailles d'un électroscope. La pile est restée isolée et libre pendant 17 h. Essayée de nouveau au bout de ce temps, qui a permis à l'humidité de se répartir uniformément et de diminuer, la pile décompose l'eau

de puits avec activité, et donne une déviation de 68°. La pile moite de cinquante paires a été alors divisée en deux piles de vingt-cinq paires. Les plaques de l'une ont été étalées sur un parquet sec ; l'autre a fait dévier l'aiguille de 71° sans décomposer l'eau. Les cinquante plaques qui ont séché sur le parquet sont de nouveau stratifiées ; cette pile de vingt-cinq couples n'est plus moite, mais elle n'est pas tout à fait sèche, bien que les papiers soient sonores ; c'est à peine si elle fait dégager quelques rares bulles d'hydrogène et d'oxigène, au moyen d'une pression additionnelle de six kilogrammes ; la déviation n'est que de 22°.

L'une de ces piles m'ayant paru trop sèche et l'autre trop humide pour produire une abondante décomposition de l'eau, j'ai stratifié les deux piles, en alternant les couples secs et humides. Immédiatement essayée, cette pile de cinquante paires dégage deux filets de bulles qui se suivent de très-près. La pression additionnelle exercée sur la pile, pour multiplier les points de contact, est de huit kilogrammes. Par une plus grande dessiccation, la déviation et la décomposition diminueraient. Une humidité croissante augmenterait continuellement la déviation ; il n'en serait pas de même de la décomposition de l'eau : elle irait en croissant jusqu'à un maximum correspondant à un certain degré d'humidité, puis elle diminuerait jusqu'à devenir nulle à un autre degré d'humidité. C'est ce que nous verrons plus loin.

En trois heures, cette pile de cinquante paires me donne environ le quart d'un centimètre cube d'hydrogène et à peu près autant d'oxigène. L'hydrogène a donc été en partie absorbé. Je me hâte alors de couper la pile en deux parties égales, que je superpose. La pile de cent paires, ainsi formée, décompose l'eau avec plus d'activité, ce qui prouve qu'à certain degré d'humidité, la quantité d'eau décomposée augmente avec le nombre des couples.

C'est d'ailleurs ce qui résulte encore de l'expérience sui-

vante: j'ai pris vingt de ces cent couples ; à peine ai-je pu voir de loin en loin quelques bulles d'hydrogène se dégager ; la déviation a été de 49°. J'ajoute dix couples ; les bulles d'hydrogène sont moins rares ; la déviation est de 51°. Je continue à ajouter dix couples à la fois ; la décomposition de l'eau de puits devient de plus en plus active, mais la déviation reste comprise entre 49° et 51°. La pile de cent couples, ayant une légère moiteur, a décomposé l'eau de puits pendant dix-huit heures ; on avait encore deux petits filets de gaz au moment où on l'a démontée pour visiter les plaques ; on les a trouvées parsemées de taches, dont l'étendue faisait environ la vingtième partie de la surface totale.

Quarante rectangles, de 178 millimètres sur 158, en papier étamé et manganèse, ont été mouillés au pinceau, du côté du peroxide, avec de l'eau saturée de chlorure de sodium, puis séchés au soleil. Les plaques sont raides, sonores, recoquillées. J'en forme tout de suite une pile, pressée par un poids de dix kilogrammes ; dans cet état elle donne une déviation de 22° et décompose très-faiblement l'eau saturée de sel. Les plaques sont ensuite rapidement déposées une à une sur le sol carrelé. Immédiatement après avoir déposé la dernière, on relève la première et successivement toutes les autres. Trois minutes ont suffi pour cette opération, et cependant la pile a déjà pris assez d'humidité pour décomposer avec avidité l'eau salée. On a une déviation de 46° et une belle colonne de gaz hydrogène, mais presque pas d'oxigène ; les bulles de ce dernier gaz diminuent de volume en s'élevant, et disparaissent dès qu'elles sont à cinq ou six millimètres du point où elles naissent, et où même elles sont pour la plupart absorbées. Cette décomposition de l'eau salée s'affaiblit beaucoup en une demi-heure. Les quarante plaques sont de nouveau déposées sur le sol, où elles restent pendant trente minutes ; elles sont alors molles d'humidité. La pile reformée donne une déviation de 85°, et ne laisse pas apercevoir la moindre trace d'action chimique.

Je mêle vingt de ces plaques salées avec vingt plaques sèches et non salées ; la pile de quarante plaques, ainsi formée, fait dévier l'aiguille de 42° et décompose l'eau.

Avec les plaques salées et encore molles d'humidité, j'ai constaté, par l'expérience suivante, l'influence de la pression sur la déviation de l'aiguille. La première colonne indique le nombre des plaques ; nous avons averti qu'il fallait retrancher un de ces nombres pour avoir le nombre des couples actifs, attendu que la pile est mise, comme d'ordinaire, entre deux papiers blancs. La seconde colonne indique la déviation pour une pression constante de 863 grammes, qui est le poids de l'armure supérieure ; enfin, la troisième colonne indique la déviation pour une pression de 10863 grammes.

40	34°	72°
30	42	71
20	42	72
10	49	75
5	45	70
2	26	47
1	0	0

J'ai souvent remarqué qu'une augmentation de pression active la décomposition de l'eau ou la détermine dans certains cas, mais alors il est rare qu'elle dure longtemps.

L'avant-dernière expérience de ce tableau paraît offrir une anomalie due peut-être à l'état particulier des deux plaques ; cependant, à l'inspection, je ne remarque rien qui puisse autoriser ce soupçon. J'ai donc remis en expérience ces deux plaques, formant un couple, et voici les singularités que j'ai observées. La pression constante est de 863 grammes. L'aiguille, lancée d'abord à 76°, allait se fixer vers 20°, lorsqu'elle est partie pour s'arrêter un instant à 60°; alors elle retombe à 19°, et aussitôt elle remonte à 70°. Elle allait se fixer vers 50°, lorsque la cause inconnue qui agit sur elle la fait retomber à 0°; puis elle va osciller entre 40° et 50°, 20° et 30°, 17° et 19°; mais tout à coup elle est lancée à 71°; elle oscille entre

35° et 60°, 40° et 50°, 39° et 41°. Il semble qu'elle va se fixer à 40°, mais un nouveau caprice la pousse jusqu'à 74°. Après une série d'oscillations irrégulières, l'aiguille s'arrête un moment à 5°; mais évidemment elle allait subir un nouveau caprice, lorsque, pendant un instant très-court, j'exerce sur la pile, et du bout du doigt, une légère pression; aussitôt l'aiguille va à 55°, oscille et s'arrête à 3°. A peine fixée à ce point, elle est tout à coup poussée à 95°; puis elle oscille entre 40° et 50°, 42° et 61°, 12° et 20°, 10° et 14°; elle est alors de nouveau chassée jusqu'à 130°. Après trente-cinq minutes d'absence forcée, je la retrouve oscillant entre 55° et 60°. Un poids de dix kilogrammes est alors ajouté à celui de l'armure; de nouveau l'aiguille va à 130°, mais elle se fixe enfin à 43°.

En intervertissant l'ordre de ces deux plaques, j'ai eu des résultats analogues, mais moins prononcés; il en a été de même en opérant sur d'autres couples. J'ai essayé une seule combinaison de trois plaques et n'ai rien vu de pareil.

La cause *première* de ces bizarreries me paraît être purement mécanique. Les deux plaques salées, très-hygrométriques, tendent à un certain équilibre relatif d'humidité entre elles et les papiers blancs. Le mouvement moléculaire qui en résulte, et que l'inégale et faible pression de 863 grammes ne peut empêcher, détermine la séparation de certaines plages qui se touchaient, et alors l'aiguille retombe vers 0°; ou bien il détermine le contact de certaines plages qui ne se touchaient pas, et alors l'aiguille est lancée plus loin. Ce qui favorise cette explication conjecturale, c'est que de petits chocs sur la table amènent presque toujours, en pareil cas, un changement dans la déviation de l'aiguille, au moment où rien n'annonce qu'il va s'opérer de lui-même, sans le secours de ces chocs ou d'une plus forte pression. L'expérience unique faite avec trois plaques milite contre cette explication.

L'expérience suivante a pour but de déterminer à peu près la limite inférieure du nombre des plaques nécessaires pour

obtenir, soit la commotion, soit la décomposition de l'eau saturée de chlorure de sodium, au moyen des deux pointes de platine dans l'appareil à décomposition décrit plus haut. Les plaques de papier étamé, peintes au manganèse, sont des rectangles de 178 millimètres de longueur sur 158 de largeur. Elles sont raides et sonores; elles sont *sèches*, dans l'acception ordinaire de ce mot. La pression constante est de 10863 grammes; le poids additionnel est isolé, comme de coutume, par une lame de verre.

PLAQUES	DÉVIATION	COMMOTION.	DÉCOMPOSITION DE L'EAU SATURÉE DE SEL.
20	29°	Nulle.	Quelques bulles de gaz hydrogène se dégagent; c'est la limite cherchée.
40	31	Nulle.	Les bulles sont moins rares. Point d'oxigène, il est absorbé.
60	34	Nulle.	Beau filet continu d'hydrogène; très-peu d'oxigène.
80	33	A peine sensible.	Idem.
100	33	A peine sensible.	Idem.
120	32	Douteuse.	Un peu moins active.
140	30	Nulle.	Encore un peu moins active.
160	30 1/2	Sensible.	Comme 140.
180	31	Plus sensible.	Idem.
200	30	Comme 180.	Idem.
220	29	Presque piquante	Idem.
240	29	Piquante.	Assez beau filet d'hydrogène et un peu d'oxigène.
260	30	Piquante.	Idem, sans oxigène.
280	30	Plus piquante.	Plus gros filet d'hydrogène, sans oxigène.
300	30	Comme 280.	Idem.

La pile de trois cents plaques ayant reposé pendant dix minutes, la commotion est devenue plus piquante; elle augmente encore d'intensité si la pression augmente de cinq kilogrammes; au contraire, si la pression est réduite à cinq kilogrammes, la commotion est moins intense.

Pour prendre la commotion, je touche du doigt, ou mieux

avec une poignée de métal, l'armure inférieure de la pile isolée, et je touche l'un des angles de l'armure supérieure avec le menton fraîchement rasé, ou avec le bout du nez.

Dix feuilles entières, non rognées et sèches, suffisent pour la décomposition; je l'ai obtenue avec six des trois cents plaques ci-dessus, convenablement humectées. Au surplus, cette décomposition dépend à la fois des dimensions et du nombre des plaques, de leur degré d'humidité, et de la pression. Je n'ai jamais réussi à décomposer l'eau avec des piles devenues molles par un excès d'humidité, bien qu'alors la déviation soit très-forte. A la marche plus ou moins rapide de l'aiguille, et sans attendre qu'elle s'arrête, on peut prévoir qu'une pile décompôsera l'eau ou ne la décomposera pas.

Une pile récemment montée et suffisamment humide décompose l'eau saturée de chlorure de sodium. L'hydrogène se dégage au pôle négatif et l'oxigène au pôle positif; mais si la pile a peu d'activité, l'oxigène est absorbé en naissant. Pour savoir s'il est libre dans le liquide, ou s'il entre en combinaison, j'ai fait l'expérience suivante: — A défaut de chou rouge, dont la saison était passée, j'ai fait infuser à froid, dans de l'eau saturée de sel, des fleurs de l'éphémère de Virginie, desséchées au soleil. En quelques minutes on a une teinture d'un beau bleu violacé; elle passe au vert dans la petite cloche au pôle négatif, et *en même temps* au rouge au pôle positif.

Afin d'avoir des notions moins vagues sur le degré d'humidité qu'il convient de donner à une pile pour qu'elle décompose l'eau ou donne la commotion, j'ai fait les expériences suivantes.

J'ai fait sécher au four les trois cents plaques ci-dessus. La pile, rapidement stratifiée et encore chaude, pesait 1125,7 grammes, déduction faite du poids des armures et des cordons[1].

[1] Ces trois cents plaques, étamées et nues, pesaient 605,77 grammes; ainsi chaque plaque a pris 1,733 grammes de peroxide et de colle.

Sous la pression de 10863 grammes, cette pile ne décompose pas l'eau, et la déviation n'est que de 8°. Les plaques sont ensuite étalées sur un carrelage essuyé après avoir été imbibé d'eau. On les a stratifiées dès qu'elles ont eu perdu leur raideur. Le poids de l'eau absorbée est de 46,3 grammes ; c'est deux gouttes d'eau par plaque, à raison de treize gouttes pour un gramme.

La commotion immédiatement prise est à peine sensible, mais elle augmente d'intensité en quelques minutes, sans cependant devenir piquante ; la déviation est de 50°. La décomposition de l'eau salée est active ; on voit un gros filet de bulles d'hydrogène ; les bulles d'oxigène sont absorbées à mesure qu'elles se détachent du platine.

La pile, bien serrée par les cordons de soie, est mise dans un four de cuisine ; elle est si chaude, quand on la retire, qu'on peut à peine la tenir dans les mains par les armures ; la déviation est alors de 53°. On a un gros filet d'hydrogène et point d'oxigène. Deux heures et demie après, la pile, refroidie, ne donne que de rares bulles de gaz ; la commotion est à peine sensible et la déviation est réduite à 22°.

La pile est de nouveau mise au four. Retirée brûlante, elle donne une commotion piquante, une déviation de 66°, un beau filet d'hydrogène et un petit filet d'oxigène. Elle écarte de quatre millimètres les pailles d'un électroscope. Soixante-dix minutes après, la pile, refroidie, ne donne plus qu'une faible commotion ; la divergence des pailles a diminué d'un millimètre, la déviation est réduite à 32°, et l'on n'a plus qu'un filet grêle de gaz hydrogène.

La pile est encore remise au four. Retirée brûlante, elle donne une commotion peu forte, un assez beau filet d'hydrogène sans oxigène, et fait dévier l'aiguille de 46°. En trente minutes, cette déviation est réduite à 37°, et à 27° en une heure quinze minutes ; dix-huit heures après elle n'est que de 17°, et l'on n'a plus ni commotion ni décomposition.

Encore mise au four et retirée brûlante, la pile donne immédiatement des commotions assez piquantes et un maigre filet d'hydrogène; la déviation est de 41°. Trente minutes après, la décomposition et la commotion sont presque nulles, et la déviation est réduite à 28°.

Plusieurs causes, ce me semble, contribuent avec l'élévation de la température à l'activité de la pile au sortir du four. La plus influente me paraît être la liquéfaction de la colle; ensuite, le gonflement de la pile qui multiplie les points de contact, et enfin la sécheresse des cordons de soie.

Par ces dessiccations successives la pile a perdu 22,5 grammes d'eau; il ne lui en reste plus que 46,3 — 22,5 = 23,8, c'est-à-dire à fort peu près la moitié de ce qu'elle avait primitivement pris au sol; mais sa faiblesse actuelle ne doit pas être exclusivement attribuée à cette perte d'humidité et à la solidification de la colle. La dessiccation n'a pas pu se faire uniformément; les bords des plaques, plus exposés à l'action de la chaleur, ont dû se contracter, et malgré la forte tension des cordons de soie, les plaques ont dû se voiler en se refroidissant, et cesser d'être en contact sur toute leur surface. En effet, les plaques de la pile démontée étaient toutes sensiblement voilées.

On les a ensuite étalées sur une grande toile mouillée étendue sur le carrelage, puis on les a couvertes avec une autre toile mouillée; enfin, on les a mises entre des cartons secs et lisses. Après vingt heures de forte pression, les trois cents plaques bien dressées, humides sans être moites, sont stratifiées de nouveau. La pile donne une commotion très-piquante et qui provoque les larmes si on la prend coup sur coup au bout du nez. Cette commotion, prise dans l'obscurité, produit une lueur dans les yeux. La saveur est prononcée; l'étincelle n'est pas visible; la déviation est de 49°. La décomposition de l'eau saturée de sel se manifeste par un gros filet d'hydrogène et

des bulles d'oxigène qui se succèdent rapidement, mais qui disparaissent en s'élevant. Le poids de l'eau que la pile conserve, après en avoir cédé aux cartons, est de 54,8 grammes; c'est moins que deux gouttes et demie par plaque; c'est une couche d'eau épaisse de soixante-cinq dix-millièmes de millimètre.

Trois heures après ces premières observations, la pile est déjà fort affaiblie, sans que l'humidité ait pu sensiblement diminuer. La commotion est moins piquante et sans lueur; la décomposition est moins active; la déviation est réduite à 41°. Au bout de dix-huit heures la déviation n'est plus que de 30°; la commotion est à peine sensible; la décomposition de l'eau se soutient mieux.

Les trois cents plaques ont été successivement réparties entre de grandes feuilles de zinc polies, et passées à un puissant laminoir mu par deux hommes. Par cette opération, les plaques sont amincies, droites, très-lisses sur les deux faces; elles n'ont perdu, par ces manipulations et la stratification, que 5,5 grammes d'eau; il leur en reste donc $54,8 - 5,5 = 49,3$. La pile n'a plus que 34 millimètres d'épaisseur entre les deux armures, au lieu de 65 qu'elle avait avant sous la même pression. Les points de contact doivent donc être multipliés; cependant la pile ne paraît guère plus active. Au début elle donne une commotion piquante et la lueur; la déviation est de 44°. On a un beau filet d'hydrogène dans l'eau saturée de sel, et les bulles assez communes d'oxigène disparaissent dès qu'elles arrivent à six ou huit millimètres de leur point de départ. L'eau de puits donne un moins gros filet d'hydrogène; mais l'oxigène, en plus grande quantité, arrive jusqu'à la surface. L'eau de pluie, puisée dans un tonneau qui la recueille des toits, donne presque autant d'oxigène que d'hydrogène: une partie de l'hydrogène est donc absorbée.

Au bout de vingt heures, la déviation est réduite à 30°; la commotion est faible; la décomposition de l'eau se soutient

mieux. Treize jours après, la commotion est nulle ; la décomposition de l'eau de puits très-faible ; la déviation est de 22°, sous une pression de quinze kilogrammes ; les 49,3 grammes d'eau sont réduits à 43,4 grammes.

La dessiccation lente de la pile est certainement une cause continue d'affaiblissement ; mais elle n'est pas la seule, puisque, pour une quantité d'eau à peu près la même, la pile est fort affaiblie après un temps assez court, et qu'au contraire elle est fort active immédiatement après la stratification. D'un autre côté, la dessiccation par l'action de l'air extérieur doit être excessivement lente dans une pile fortement comprimée, surtout si les plaques sont grandes ; il faut donc que l'eau d'imbibition se décompose dans l'intérieur de la pile, ce qui accélère la dessiccation, et que l'étain s'oxide peu à peu. Il est de fait qu'avec le temps cet étain se parsème de petites taches dans une pile même peu humide. Ces taches, qui se déclarent très-vite dans une pile salée et molle d'humidité, se forment sans doute aux points où le contact est intime, et c'est pour cela, sans doute, aussi qu'en démontant et remontant une pile devenue inactive on lui rend presque toute son énergie, parce qu'on met ainsi en contact des points qui n'avaient pas encore été attaqués.

Un mois plus tard, cette même pile de trois cents plaques est encore un peu affaiblie. On l'a démontée ; les faces étamées n'ont pas paru notablement altérées. Alors on a mis une nouvelle couche de manganèse, et sans attendre que les plaques fussent tout à fait sèches, on les a mises, avec cent cinquante plaques neuves, entre des cartons secs. Une presse a maintenu le tout fortement comprimé pendant quinze heures. Au sortir de la presse, les quatre cent cinquante plaques paraissent sèches ; elles n'ont pas cependant toute la raideur et la sonorité qu'une exposition au soleil aurait pu leur donner. Après avoir stratifié et avoir bien serré la pile par quatre cordons de soie, on a fait les observations suivantes.

La commotion prise au bout du nez est si piquante, qu'elle provoque les larmes quand on la réitère de seconde en seconde. A chaque commotion, prise dans l'obscurité, une vive lueur passe devant les yeux et semble descendre le long du visage. Elle est encore sensible aux yeux ouverts dans un lieu bien éclairé. La saveur galvanique n'est pas douteuse. L'étincelle est à peine visible dans l'obscurité. Les pailles de l'électroscope s'écartent de cinq millimètres. La déviation est de 60°. La décomposition de l'eau de puits est très-active.

Au bout de vingt-huit heures, j'ai recueilli exactement les deux tiers d'un centimètre cube d'hydrogène et un tiers de centimètre cube de gaz oxigène. La déviation est réduite à 46°; la commotion, moins piquante, ne provoque plus les larmes; la lueur est fort affaiblie. Vingt-quatre heures plus tard, la décomposition de l'eau est faible, on n'a qu'un quart de centimètre cube de gaz hydrogène. La commotion est à peine piquante et sans lueur; la déviation n'est plus que de 38°. Dix-neuf jours après la déviation est de 16°.

J'ai construit une pile de cinq cents petits carrés de papier étamé. Ces carrés, de 39 millimètres de côté, étaient abandonnés depuis vingt-huit ans; l'étain en était un peu terni. Quand je les ai stratifiés, après les avoir peints au manganèse et séchés, ils étaient fort peu humides. Cette pile ne donne ni saveur, ni lueur, ni commotion, mais elle décompose l'eau de puits; la déviation n'est que de 23°. J'ai divisé cette pile en vingt-cinq piles de vingt carrés, et je les ai mises entre deux gros linges imbibés d'eau, puis je les ai superposées. Les carrés extrêmes de ces tas étaient mous d'humidité; ceux du centre avaient perdu de leur sécheresse. La pile, essayée de suite, donne des commotions piquantes, avec lueur; la déviation est de 56°, l'eau de puits est activement décomposée. Si toutes les plaques avaient été ramollies par l'humidité, la déviation aurait été plus forte, mais l'eau ne serait pas décomposée. En général, si une pile de deux cents à cinq cents éléments est assez peu

humide pour ne produire qu'une déviation au-dessous de 20° à mon multiplicateur, il n'y a ni commotion ni décomposition. Il n'y a pas non plus décomposition si, par un excès d'humidité, la déviation passe 80°; mais ceci est une généralité et non une règle. La décomposition, qui a duré dix-neuf heures, était très-faible au bout de ce temps; les bulles d'hydrogène ne se suivaient plus qu'à une distance de trois à six millimètres; la déviation était réduite à 22° $^1/_2$.

Les faces étamées de cette pile démontée étaient plus ou moins tachées d'oxide; l'humidité était devenue uniforme. Les carrés séparés et séchés au soleil ont été de suite stratifiés; on n'a plus alors que 3° de déviation. On a promptement divisé la pile en cinquante tas de neuf carrés; les cinquante carrés restants ont été rendus mous d'humidité, puis interposés entre les tas secs. On fait cette stratification avec célérité, afin de pouvoir observer la déviation avant que l'humidité ait pu se propager dans toute la pile. La déviation a été notée de deux en deux minutes, en voici la marche: Elle était déjà de 17° au début; en douze minutes elle est montée progressivement à 23° $^1/_2$, où elle est restée stationnaire pendant six minutes; puis en cinquante-deux minutes elle est descendue à 17°; une heure après elle n'était plus que de 13°; trois heures plus tard elle était de 8°, et seize heures après de 3°.

Quand l'humidité est uniformément répartie dans une pile fortement serrée, la dessiccation à l'air, et par suite la déviation, décroît d'autant plus lentement que les dimensions des plaques sont plus grandes; c'est ce qui résulte de plusieurs expériences. Il suffit, pour le moment, de citer la suivante et de la comparer à la précédente. Une pile sèche de deux cent cinquante-deux demi-feuilles, montée depuis deux jours, donne une déviation de 38°; le lendemain, à la même heure, la déviation est de 31°; le lendemain 27°; le lendemain 25°. Les communications avec le multiplicateur sont alors enlevées pendant deux minutes et rétablies. Par suite de ce court repos de

la pile, la déviation remonte à 26°; par un nouveau repos de trente-sept minutes, elle va à 31°; elle arrive à 32° par un dernier repos de deux heures trente-deux minutes.

Les expériences qui précèdent, et d'autres faites sur des feuilles entières, prouvent assez qu'en général les propriétés d'une pile augmentent d'intensité à mesure que l'humidité devient plus grande, et qu'elles se perdent d'autant plus vite que les plaques sont plus humides et ont de plus petites dimensions.

En conséquence, je me suis décidé à faire mes deux grandes piles avec des plaques rectangulaires de 318 millimètres de longueur sur 176 de largeur, mais sèches pour une pile et légèrement humides pour l'autre. Dans ce qui va suivre je distinguerai ces piles, de deux mille plaques chacune, par les épithètes de *sèche* et *humide*, bien que la première ne soit pas et ne puisse pas être chimiquement sèche, et que la seconde ne soit pas humide, suivant le sens vulgaire de ce mot; ce sont deux piles sèches, telles qu'on les considère en électricité.

Pile sèche. — Les plaques soumises, entre des cartons secs, à l'action prolongée d'une puissante presse, ne se sont pas bien dressées parce qu'elles étaient trop sèches. La pile est haute de 343 millimètres sous la pression de l'armure supérieure, qui pèse 1886,6 grammes; un poids additionnel de quarante kilogrammes réduit cette hauteur, entre les deux armures, à 316 millimètres; mais le poids enlevé, elle remonte à 319 millimètres, bien que les quatre cordons libres aient été fortement tendus. La déviation est de 28°; l'eau n'est pas activement décomposée, bien que les bulles d'hydrogène se suivent d'assez près pour former un filet en apparence continu; la commotion est piquante, sans lueur.

En stratifiant cette pile, j'ai mis un signet de quatre cents en quatre cents plaques.

La déviation pour les

400	premières plaques inférieures est de	18°
800	idem.	22 1/2
1200	idem.	25
1600	idem.	26
2000	idem.	28

Soixante-six jours après sa construction, cette pile pèse 12737,65 grammes, déduction faite du poids des deux armures et des cordons.

Pile humide. — Les plaques ont été déposées sur une grande toile humide étendue sur le carrelage; on les enlevait avant qu'elles fussent moites. Au sortir de la presse elles étaient bien dressées et paraissaient aussi sèches que les précédentes, parce que leur humidité avait été absorbée, en grande partie, par les cartons. D'après ces circonstances, et d'après les expériences antérieures, j'estime à une goutte d'eau l'humidité que chaque plaque a pu conserver. A ce compte, il y aurait environ 150 grammes d'eau dans cette pile, qui pèse, après soixante-six jours, 12902,9 grammes. Pour mesurer les progrès de la dessiccation, il aurait fallu peser cette pile au moment de sa confection; mais j'ai été retenu par la crainte, mal fondée, de mettre hors de service la balance dont j'avais encore besoin. Tendue comme la précédente, cette pile conserve une hauteur de 323 millimètres. La déviation est de 60°. L'eau est décomposée avec une très-grande activité; on a deux gros filets de gaz. La commotion est très-piquante et accompagnée d'une faible lueur.

Chaque pile isolée est mise, par sa base, en communication avec le sol, tandis qu'on mesure la tension électrique au sommet avec un grand électroscope, dont les pailles, très-librement suspendues, sont longues de 130 millimètres; l'écart est de 13 millimètres pour chaque pile. Les pailles de l'électroscope ordinaire sont jetées contre les parois de la cloche. Les

longues pailles avaient été argentées pour les rendre conductrices et pesantes. L'égalité de tension provient de l'égalité dans le nombre des couples.

Chaque pile donne de petites étincelles bruyantes et visibles en plein jour. Des godets de laiton vissés aux armures et contenant un peu de mercure reçoivent deux tiges courbées, terminées par des boules qu'on approche l'une de l'autre. On voit ainsi, en plein jour, un torrent d'étincelles qui franchissent un intervalle de cinq à six dixièmes de millimètre. A deux mètres de distance on entend le bruit de ces étincelles.

Avec un condensateur de marbre, dont le plateau collecteur a onze centimètres de rayon, j'ai, par un contact aussi court que possible, une étincelle de sept à huit millimètres de longueur, quand les deux piles n'en font qu'une de quatre mille plaques. Un contact moins court donne, à la jointure du doigt, une étincelle de dix millimètres; il est sous-entendu que la base de la pile communique alors avec le sol. Une mince bouteille de Leyde, ayant une surface armée de cinq décimètres carrés, se charge très-vite et donne une commotion qui se fait sentir jusqu'aux poignets. Pendant qu'on charge cette bouteille, si l'on prend, du bout du petit doigt, la commotion de la pile de manière à recevoir en même temps celle de la bouteille, le picotement est presque insupportable. En persistant, les picotements continus sont assez douloureux pour qu'on soit comme obligé de retirer le doigt.

Voici le tableau de la marche décroissante de la déviation pour les deux piles.

	Pile sèche.	Pile humide.
29 juillet 1843.	28°	60°
30 juillet	26	48
31 juillet	30	44
13 août	18	29 *A.*
15 août	29	31 *B.*
15 août	41	43
12 septembre	31	32 *C.*
20 septembre	11	11 *D.*
20 septembre, à onze heures.	13	12 *E.*
20 septembre, à midi . . .	24	24
20 septembre, à une heure. .	13	18
21 septembre	13	13 *F.*
6 octobre	10	10 *G.*
24 avril 1844	5	8
25 avril.	23	26 *H.*

A.—Cette faible déviation de 18° fait soupçonner un défaut d'isolement dans les supports. En conséquence, on applique sur le soufre quatre couches successives de vernis épais à la résine laque. Ce vernis est bien sec et transparent quand on fait l'observation du 15 août.

B.—Après cette observation, les piles sont exposées au soleil pendant une heure vingt-cinq minutes, et l'on fait de suite la seconde observation du 15 août.

C.—Après deux heures d'exposition à un soleil ardent, on observe alors la marche de l'aiguille sur la pile sèche : la déviation tombe de 31° à 20° en vingt-quatre minutes, de 20° à 14° en sept minutes, et de 14° à 12° en vingt-trois minutes.

D.—On voit qu'après cinquante-trois jours, les piles sont arrivées à l'égalité. On les comprime par un poids de quarante kilogrammes pour tendre les cordons, puis on fait l'observation de onze heures.

E.—On expose les piles au soleil depuis onze heures jusqu'à midi.

F.—A peine si chaque pile donne quelques bulles de gaz au moment où l'on établit les communications.

G. — La pile sèche ne donne plus qu'une commotion à peine sensible. Celle de la pile humide est encore quelque peu piquante.

H. — Après trois heures d'exposition au soleil, chaque pile décompose l'eau commune et donne la commotion, faible pour la pile sèche, piquante pour la pile dite humide. L'écart des longues pailles n'est plus que de huit millimètres.

A toutes les époques indiquées ci-dessus, l'écart des longues pailles a été de treize millimètres. Seulement, à mesure que la pile dite humide se dessèche, il faut attendre un peu plus longtemps, pour qu'en touchant la base la tension au sommet soit arrivée à son maximum. Lorsqu'il est établi, la déviation, pour la première impulsion de l'aiguille, était de près de 180° au début; après deux mois, elle n'est plus que de 95° à 120°. La pile s'étant ainsi déchargée, en un court instant, à travers le fil du multiplicateur, ne fournit plus assez vite l'électricité nécessaire à l'entretien d'une déviation un peu forte, et l'on voit l'aiguille se rapprocher lentement de zéro; il faut attendre plusieurs minutes avant qu'elle paraisse à peu près fixe.

Pendant les premiers jours la commotion était, pour ainsi dire, continue; deux mois plus tard, elle n'est un peu piquante qu'après une minute de communication de la base avec le sol.

Les étincelles restent toujours bruyantes et visibles en plein jour; mais elles se succèdent moins rapidement pour la même distance.

Quand une pile suffisamment humide est très-active, peu de jours suffisent pour que l'armure du pôle positif s'oxide sensiblement à l'air; l'armure du pôle négatif reste brillante.

DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES CORPS EN COMBUSTION, par Pierre RIESS. (*Poggend. Annal.*, t. LXI, p. 545.)

I. *Notice historique.*

Dès que, vers la fin du seizième siècle, on commença à étudier les phénomènes électriques, on observa que les corps en combustion exerçaient un effet électrique particulier. Gilbert[1] découvrit que les corps électrisés n'attirent ni la flamme ni les substances en combustion, et qu'ils n'exercent aucune influence sur une aiguille mise en équilibre à l'extrémité d'une tige verticale, quand il se trouve dans le voisinage une flamme de bougie ou quelque autre substance en combustion.

Kircher reproduit cette expérience en la brodant quelque peu. Il est certain, dit-il[2], que les corps électriques, mis en présence du feu ou de charbons ardents, ou exposés aux rayons du soleil, cessent d'exercer leur action, comme si ces substances étaient les ennemis déclarés de leur énergie.

Dans les Mémoires de l'*Accademia del Cimento* publiés en 1667, se trouve consignée une expérience qui confirme d'une manière décisive la curieuse propriété de la flamme de détruire l'électricité d'un corps placé dans son voisinage. Si, est-il dit[3], après avoir frotté un morceau d'ambre, on le promène autour

[1] Gilberti *Tractatus de Magnete*. Lond. 1600, lib. II, cap. II, édit. poster. *Sedini 1628, p. 61. (L'astérisque indique ici et plus loin l'édition dont j'ai fait usage.)

[2] Kircheri *Magnes sive de arte Magnetica*. Romæ 1641, lib. 3, pars 3, cap. 3, ed. poster. *Romæ 1654, p. 454.

[3] *Saggi di naturali experienze fatte nell' Accademia del Cimento* Firenze, 1667. — Ed. poster. *Napoli 1701, p. 229.

d'une flamme, celle-ci lui enlève sa force d'attraction, et il faut le frotter de nouveau pour la lui rendre. S'il retenait à sa surface un fragment de quelque substance, il le laisse retomber en approchant de la flamme.

Une autre expérience qui se lie à celle-là, est celle que Otto de Guericke rapporte quelques années plus tard [1], sans l'expliquer. Une plume de duvet, électrisée avec une boule de soufre qui avait été frottée, ne fut de nouveau attirée par elle qu'après avoir été mise en contact avec un corps étranger. Mais si l'on faisait avancer la plume avec la boule vers une chandelle allumée, la plume était attirée par la boule quand elle n'était plus qu'à quelques pouces de la flamme.

Dufay [2] affirmait, en 1733, qu'une flamme de chandelle isolée ne pouvait pas s'électriser quand on en approchait un tube de verre qui avait été frotté ; et il attribuait ce fait à ce que les parties qui constituent la flamme se renouvellent constamment. On ne pouvait y voir l'effet de la chaleur, puisqu'un fer rouge ou un charbon ardent, placés dans les mêmes circonstances, devenaient électriques.

Winkler observa, en 1744, la transmission de l'électricité par la flamme [3]. Une chandelle allumée isolée ayant été placée à côté d'un tube de verre électrisé, un autre tube de tôle, qui se trouvait à une aune de distance, devint électrique.

Dans le premier mémoire qui a été couronné par l'Académie de Berlin (31 mai 1745), Waitz [4] rapporte qu'une flamme de chandelle ou un charbon ardent, placés sous un barreau de fer électrisé, lui ôtent son électricité. Un tube de tôle perdit son

[1] *Experimenta nova Magdeburgica* *. Amstelod. 1672, p. 147. In Gasp. Schott *Technica curiosa* * 1664, cette expérience ne se trouve pas encore rapportée.

[2] *Histoire de l'Académie des Sciences*, année * 1733, p. 84. Amsterdam 1737 *, p. 117.

[3] *Gedanken von d. Elektr.* Leipzig 1744. Waitz, *Abhandl. von d. Elektr.* * Vorbericht, p. 28.

[4] Waitz *Abhandl. von d. Elektr.* * Berlin 1745, p. 52.

électricité dès qu'on mit une chandelle allumée à deux pieds de distance au-dessous. On fit l'expérience suivante pour démontrer la propriété dont jouit la flamme, de transmettre à un conducteur placé dans le voisinage l'électricité enlevée à un corps électrique. Une chandelle allumée fut placée à chacune des extrémités d'une longue bande de bois isolée, et un barreau de fer fut suspendu avec des cordons de soie au-dessus de chaque chandelle; quand on électrisa l'un des barreaux, l'autre devint électrique; mais cet effet cessa d'avoir lieu, lorsqu'on éteignit l'une des chandelles.

Peu de temps après on fit connaître en France et en Angleterre des expériences semblables. Du Tour écrivait à l'abbé Nollet, le 21 août 1745, qu'il avait découvert la propriété que possède la flamme de détruire l'électricité [1]; Miles reconnaissait la conductibilité de la fumée et de la flamme [2]; Watson annonçait le 30 octobre 1746, à la Société royale de Londres, qu'une personne placée sur un tabouret isolant, transmettait l'électricité dont elle était chargée, à une autre personne également isolée, lorsqu'une colonne de fumée ou une flamme se trouvait entre elles deux [3].

Ce fut seulement dans les années qui suivirent qu'on découvrit de nouveaux faits. Franklin dirigea contre un corps électrique de la fumée de résine en fusion, et trouva qu'elle ne conduisait pas l'électricité [4]. Jallabert [5] assujettit un fil de métal à la mèche d'une chandelle isolée qu'il avait placée sous un barreau de fer électrisé. Le fil devint électrique quand on alluma la chandelle.

[1] Priestley, *Geschichte der Elektric.*, traduc. allem. par Krünitz *, p. 53.

[2] De Humboldt, *Gereizte Muskel und Nervenfaser* * vol. I, p. 438.

[3] Priestley, *Geschichte* *, p. 52.

[4] *Experiments and observations*, 5e édit. * 1774, p. 6.

[5] *Recherch. sur l'Electr.*, Paris 1749. *Mémoir. de math. présentés à l'Acad.* * 1755, t. II, p. 251.

Nollet[1] tint, à 5 ou 6 pouces de distance d'un tube de verre qui avait été frotté, un barreau de fer chauffé au point qu'il lançait des étincelles, et en trois secondes le tube perdit son électricité, tandis qu'il était encore électrique au bout de cinq minutes quand le barreau n'avait été chauffé qu'au rouge sombre. Ce même tube de verre conserva son électricité, quand on le mit au foyer d'un miroir ardent de deux pieds de diamètre exposé au soleil.

Priestley fit, en 1766, une plus grande série d'expériences[2]. Une bouteille de Leyde chargée perdit son électricité, quand on la tint à deux ou trois pouces au-dessus ou au-dessous de la flamme d'une chandelle; une pelle de foyer chauffée au rouge n'enleva l'électricité à la bouteille qu'à une distance beaucoup plus petite, et un bâton de verre chauffé au rouge ne la lui enleva point, même à une distance voisine du contact. On interrompit l'arc de communication d'une batterie électrique sur un espace dont on pouvait faire varier l'étendue à volonté. Lorsque cet espace fut porté à 3 pouces, et qu'on y eut placé une chandelle allumée, la batterie donna sa décharge; lorsqu'on remplaça la chandelle par un morceau de fer rouge, il fallut, pour obtenir la décharge, réduire à 1 $^1/_2$ pouce l'étendue de l'espace où le circuit était interrompu; enfin avec un bâton de verre chauffé au rouge, l'interruption ne pouvait pas être plus grande que juste ce qu'il fallait pour que les extrémités du fil de jonction ne touchassent pas le bâton de verre. — Pour étudier le passage de l'électricité à travers de la fumée et de la vapeur, Priestley ne fit qu'augmenter d'une faible quantité l'étendue de la partie interrompue du circuit, de manière à pouvoir obtenir la décharge à travers l'air atmosphérique. De la vapeur d'eau, projetée par le goulot d'un vase en ébullition, ne détermina pas la décharge, et il en fut de même de

[1] Nollet, *Recherches sur la cause de l'Electricité* * 1753, p. 216.
[2] Priestley, *History of Electricity* *, 1767, p. 612.

la fumée de résine en fusion, ou de celle d'une chandelle qu'on venait d'éteindre en la soufflant. Mais quand on mit dans la partie interrompue du circuit la mèche encore en ignition de la chandelle, la décharge de la batterie eut lieu, et la chandelle se ralluma.

Dans les expériences qui précèdent, un côté important du phénomène n'a pas attiré l'attention. En effet, tandis que la flamme détruit l'électricité d'un corps placé dans son voisinage, elle se charge elle-même de l'électricité de même espèce que celle de ce corps. Ainsi, en observant dans ces circonstances l'électricité de la flamme, on peut connaître l'électricité du corps qu'on en approche, et cela souvent alors qu'on ne peut pas étudier directement la dernière. Par exemple, si l'on tient une surface de résine frottée à une distance telle au-dessus d'un électroscope que celui-ci n'en soit pas affecté; si l'on met en communication avec l'armure de l'instrument une flamme ou un corps en ignition, l'instrument donne aussitôt des signes d'électricité résineuse. Par conséquent le corps en combustion fournit un moyen d'accroître démesurément la sensibilité d'un électroscope. Cette application de haute importance a été faite, en 1787, par Bennet [1] et par Volta [2], et a été employée pour étudier l'électricité atmosphérique et l'électricité qui se développe dans l'évaporation.

Alexandre de Humboldt [3] a étudié l'action électrique de différentes flammes, et l'a trouvée la même avec la flamme d'une mèche à huile, d'une bougie, du phosphore, de l'hydrogène et du soufre.

[1] *Philosophic. Transact. f.* 1787 *, p. 288. Le mémoire a été lu le 10 mai de la même année.

[2] Volta, *Lettres météorologiques* (traduc. allem. de Schæffer) *, 1793, p. 85 et 137. La lettre relative au sujet en question a été adressée à Lichtenberg, en juillet 1787.

[3] De Humboldt, *Versuche über d. gereizt. Muskel u. Nervenfaser* * 1797, vol. I, p. 440.



Bonnycastle[1] trouva que la flamme du soufre n'exerce d'action que lorsqu'elle est très-intense et de couleur presque blanche; mais qu'elle n'en exerce point quand elle est bleue et qu'elle provient de la combustion d'une petite partie de soufre.

Parmi les explications qu'on a tentées pour rendre compte de ces phénomènes, je laisse de côté immédiatement celles dont les auteurs ont recours à des causes qu'ils ont imaginées spécialement dans ce but. Waitz a mis en avant l'idée que la matière électrique diffère très-peu de la matière ignée; Bonnycastle a supposé que la flamme prête une force rayonnante à l'électricité qui la traverse, et récemment Petrina a conjecturé que l'oxigène qui arrive sous forme de courant sur la flamme, ne forme la combinaison chimique d'où résulte cette flamme, que lorsqu'il se trouve dans un état électrique déterminé, et qu'il prend et conserve cet état jusqu'à une distance considérable du point où a lieu la combinaison.

Chez les physiciens, c'est de beaucoup le plus grand nombre qui a admis que la flamme n'agit que d'une manière secondaire dans les phénomènes électriques en question, et que c'est le courant d'air et de vapeur produit par la chaleur de la flamme, qui est la cause immédiate de ces phénomènes. Déjà Du Tour attribuait, en 1747, l'action de la flamme aux parties volatiles qui s'en échappaient; selon lui ces parties se chargent de l'électricité d'un corps voisin, et l'emportent avec elles[3]. Mais la démonstration qu'il voulut donner à l'appui de cette opinion, en plaçant entre la flamme et le corps électrisé des écrans de papier ou de verre, et en détruisant ainsi l'effet de la flamme, n'est pas suffisante. Ce physicien ne fut pas plus heureux dans un autre mémoire[4]; il ne s'occupe que du cas où la

[1] *Quarterly Journal*, 1829. Schweigger's *Jahrbuch d. Chemie* *, vol. 58, p. 194.
[2] Poggendorff's *Annal. der. Phys. und Ch.* *, vol. 56, p. 463.
[3] *Mémoires présentés à l'Acad. des Sc.* *, t. I, p. 345.
[4] *Mémoires présentés à l'Acad. des Sc.* *, t. II, p. 246.

flamme exerce son influence sur un corps placé directement au-dessus d'elle, et il fait voir qu'un jet d'eau, employé à la place d'un courant de vapeur, produit le même effet que celui-ci. L'expérience dans laquelle la colonne de fumée d'une chandelle éteinte exerce la même action que la flamme, n'est pas décisive en ce qui concerne l'hypothèse dont il s'agit, puisque l'effet de la fumée n'a lieu qu'autant que la mèche continue à être en ignition.

L'hypothèse en question trouve un meilleur appui dans les expériences de Priestley que j'ai rapportées plus haut. En effet, elles font voir que l'air qui environne un corps en combustion, et non pas seulement en ignition continue, devient conducteur, et par conséquent qu'il sert à déterminer la décharge d'une batterie à travers un espace où elle n'aurait pas eu lieu, s'il ne s'y était trouvé que de l'air ordinaire.

Volta a traité de l'action de la flamme avec l'extension qu'il donnait à tous les sujets qu'il abordait, et il y a consacré une grande partie de ses Lettres météorologiques. Il prend, pour point de départ de son hypothèse, le fait qu'une pointe métallique qu'on approche d'un corps fortement électrisé, lui enlève son électricité, de même que la flamme, et devient elle-même électrique. Dans ce cas, selon lui, c'est le courant d'air produit autour de la pointe par l'électricité même, qui met en même temps cette pointe en contact avec un plus grand nombre de particules d'air que si l'air n'était pas en mouvement, et qui par là lui fait prendre en peu de temps l'électricité du corps placé dans son voisinage, ou bien lui fait céder la sienne à ce corps. Si l'électricité de celui-ci est trop faible, ou que l'intervalle entre lui et la pointe soit trop considérable, le courant d'air électrique ne s'établit pas, et la pointe n'exerce pas son action. Alors cette pointe ne reçoit du corps qu'on en approche, que de l'électricité par influence (accidentelle, comme Volta la nomme), qui disparaît en même temps qu'on éloigne le

corps[1]. Maintenant cet effet que le courant d'air électrique produit avec la pointe dans des circonstances favorables, a constamment lieu avec la flamme par l'effet du violent courant d'air, toujours ascendant, qui résulte de l'existence de la flamme même.

Faisons d'abord remarquer qu'il est aujourd'hui complétement impossible d'admettre cette hypothèse. Le courant d'air électrique n'est pas la cause, mais la conséquence de l'état fortement électrique d'une pointe ; et le plus fort courant d'air que l'on puisse déterminer avec un soufflet contre un corps électrisé, ne lui enlèvera pas son électricité plus tôt que ne l'aurait fait ce même air en repos.

L'autre circonstance qui, selon Volta, détermine l'action de la flamme, c'est que l'air devient conducteur par l'effet de sa raréfaction et de la chaleur, et que l'air chaud, plus léger, prend et abandonne plus aisément l'électricité que l'air froid. En conséquence il part de la flamme une zone conductrice qui est beaucoup plus étendue que la partie visible de la flamme même. Ce qui le prouve, c'est qu'on peut enfermer la flamme dans une lanterne sans lui faire perdre son action, pourvu qu'on y ménage un courant d'air suffisant.

Ce dernier argument est identique avec celui de Priestley ; seulement, selon le physicien anglais, la zone conductrice est remplie par les émanations de la flamme, tandis que, selon Volta, c'est l'air chaud surtout qui possède la conductibilité. Mais cette hypothèse ne s'est pas trouvée vraie. Read[2] mit dans un four chauffé deux électroscopes simples, chargés d'électricité ; quoique la chaleur fût si forte que l'un des deux électroscopes ne put y résister, l'autre avait conservé son électricité quand on le retira. Cette expérience, répétée par Erman[3] dans un fourneau à vent, a donné le même résultat.

[1] *Lettres météorologiques*, etc., p. 151.

[2] *Summary view of the electricity of the earth*. Lond. 1793. Saxtorph, *Elektricitætslehre ;* trad. allem. de Fangel * 1803, part. I, p. 222.

[3] *Abhandl. der Akad. der Wissensch*. Berlin 1819 *, 2[e] partie.

Alex. de Humboldt [1] a attribué l'action de la flamme à la conductibilité de l'ensemble des substances qui en émanent, substances qui, selon la nature de la flamme se composent de particules charbonneuses, mécaniquement entraînées du corps en combustion, de vapeur d'eau, d'acide carbonique, de vapeur d'huile, d'acide sulfurique imparfait, d'acide phosphorique et d'autres acides plus compliqués, enveloppés dans une atmosphère raréfiée et dépourvue en grande partie d'oxigène.

II. *La flamme exerce son action par les particules de vapeur qui agissent comme des pointes.*

Jusqu'à présent, toutes les hypothèses qui s'appuient sur des expériences pour rendre compte de l'action électrique de la flamme, tendent à supposer qu'il existe entre la flamme et le corps électrisé qu'on en approche, une communication invisible au moyen de laquelle se ferait entre eux une véritable transmission d'électricité. Mais cette hypothèse ne peut servir à expliquer qu'un petit nombre d'expériences tout à fait spéciales, et laisse sans solution les questions relatives aux effets les plus importants de la flamme. J'ai placé un électroscope en rase campagne par un ciel serein, et je l'ai armé d'un conducteur de deux pieds de longueur. Pendant une heure je n'ai point aperçu de divergence dans les feuilles de l'instrument; mais il s'en est immédiatement produit une, quand j'ai enlevé le conducteur, et que j'ai approché du bouton de l'électroscope une flamme d'esprit-de-vin, ou un morceau d'amadou allumé. On ne conçoit pas comment la vapeur de la flamme et de l'amadou peut, en un instant, entrer en contact avec un plus grand nombre de particules d'air électrisées, que ne le fait, pendant une heure, le conducteur long de deux pieds. J'ai fixé dans une position

[1] *Versuche über die ger. Musk. u. Nervenf.* *, part. I, p. 439.



horizontale un disque de métal isolé, à huit pouces au-dessus d'une flamme d'esprit-de-vin qui brûlait dans une lampe de métal, et je l'ai mis en communication avec un électroscope à feuille d'or de Bennet. Quand la lampe était électrisée, l'électroscope présentait une divergence de trois lignes, tandis qu'un autre électroscope, mis en relation avec la lampe, ne donnait qu'une divergence de 2 lignes. Si on électrisait le disque, la divergence de l'électroscope qui communiquait avec la lampe s'élevait à 4 lignes, puis diminuait, tandis que, dans l'électroscope qui communiquait avec le disque, la divergence montait rapidement jusqu'à 5 lignes, puis devenait nulle. Mais, à chaque expérience, les *deux* électroscopes ne donnaient plus de divergence, dès qu'on mettait l'un ou l'autre en communication avec le sol. Il y a évidemment dans ce cas, entre la lampe et le disque de métal, une communication établie par l'intermédiaire de la vapeur. Mais on peut faire l'expérience d'une autre manière encore. — On a fixé à une tige de gomme-laque, dans une position verticale, et dans le voisinage d'une lampe de métal à esprit-de-vin ayant 8 lignes de hauteur, un disque de cuivre de 3 pouces 11 lignes de diamètre, de façon que la ligne droite tirée de l'extrémité de la flamme au centre du disque fût perpendiculaire à celui-ci, par conséquent horizontale, et eût environ 3 $^3/_4$ pouces de longueur. La lampe était enveloppée par un tube de cuivre ayant 13 lignes de hauteur et 9 lignes de diamètre; le disque de cuivre communiquait avec un électroscope dont les feuilles d'or avaient environ un pouce de longueur. (Voyez planche I, fig. 3.) Lorsque la lampe fut allumée, et qu'on l'eut électrisée en la mettant en contact avec le pôle d'une pile sèche, l'électroscope donna aussitôt une divergence de 3 lignes, laquelle fut réduite à 2 $^1/_2$ lignes, quand la lampe fut mise en communication par le moyen d'un fil avec les tubes de gaz de la maison. Mais cette divergence ne fut pas sensiblement altérée par la flamme, et elle était encore de 2 lignes entières au bout de 2 minutes. Quand on avait électrisé le

disque de cuivre, et qu'on avait mis de nouveau la lampe en communication complète avec le sol, les feuilles de l'électroscope se rapprochaient lentement, mais demeuraient pourtant à 3 lignes de distance, et au bout de 2 minutes elles divergeaient encore de 2 $^1/_3$ lignes. Si l'on n'avait pas allumé la lampe, la divergence de l'électroscope tombait en 2 minutes de 13 lignes à 12 lignes, quand on mettait la lampe en contact avec un des pôles de la pile sèche. — J'ai répété bien des fois ces expériences, et toujours elles m'ont donné le même résultat. Elles sont contraires à l'hypothèse, invraisemblable d'ailleurs en elle-même, que la couche d'air qui sépare la flamme et le disque de cuivre complétement abrité contre elle a été à l'instant remplie en entier de vapeur conductrice par une flamme de 4 lignes à peine de hauteur. A l'une des limites de cette zone d'air se trouve la flamme, à l'autre l'électroscope; or celui-ci ne perd pas son état électrique par le fait que la flamme est en complète communication avec le sol, ainsi que cela devrait être alors même que cet espace ne serait occupé que par un corps demi-conducteur. Le fait que la flamme diminue jusqu'à un certain degré l'électricité de l'électroscope, et ne lui apporte que de l'électricité d'une certaine force, s'accorde parfaitement avec l'hypothèse suivante, qui explique d'une manière plus vraisemblable qu'aucune autre l'action de la flamme, et dont l'exactitude est constatée par des expériences que je rapporterai plus loin.

Il s'échappe constamment de la flamme un courant dense de vapeur, qui s'élève dans l'air sous forme d'une colonne continue. Mais ce courant ne conserve cette forme que jusqu'à une hauteur peu considérable. L'air pénètre de tous côtés dans cette colonne; la vapeur, éprouvant une forte expansion par l'effet de la grande chaleur, se mélange avec des particules de l'air; la masse est ainsi entamée et divisée en un grand nombre de points, et il n'en reste que des filets qui vont s'amincissant de plus en plus, et se dissipent enfin dans l'air. Il part donc de la masse

conductrice de la vapeur, au dedans et au-dessus de la flamme, des filets également conducteurs, séparés les uns des autres par les gaz non conducteurs qui se forment, et par l'air chaud, et terminés nécessairement par des pointes. Dans cette supposition, l'on doit considérer la flamme comme un bon conducteur de l'électricité, muni de nombreuses pointes qui pénètrent de tous côtés dans l'atmosphère, et qui surpassent en finesse toutes celles que présente la nature. Si l'on répète avec ce conducteur toutes les expériences qui ont été faites avec des pointes imparfaites, on arrive aisément, en s'aidant des propriétés connues de l'électricité, à mettre en évidence les effets électriques qui sont dus à la flamme. Voici la description des cas les plus compliqués.

Il s'échappe d'un conducteur garni de pointes une quantité d'autant plus grande de l'électricité qu'il a reçue, que ses pointes sont plus fines ; c'est aussi de la flamme qu'il s'en échappe la plus grande proportion. A l'extrémité d'une pointe la densité électrique est beaucoup plus grande qu'en tout autre point du conducteur, et l'on peut démontrer que cette densité est très-considérable à l'extrémité des pointes de vapeur de la flamme. En effet, si on approche d'une flamme électrisée un conducteur non électrisé, en ayant soin de le tenir hors de la portée des filets de vapeur, ce conducteur s'électrise par influence, ses points les plus voisins de la flamme prenant l'électricité contraire (je la nommerai électricité par influence de *première* espèce, pour la distinguer de l'électricité communiquée à la flamme). La densité de la couche électrique de ces points les plus rapprochés de la flamme dépend de la distance qui les séparent des pointes de vapeur et de la densité électrique de ces dernières. Mais, même quand ils sont à une grande distance, ces points sont si fortement électrisés, que l'électricité qui y est accumulée s'en échappe, et alors le conducteur conserve l'électricité par influence, que j'appelle de *seconde* espèce, laquelle est de même nature que celle de la pointe de

vapeur. Il semblerait, d'après ce résultat complexe, que l'électricité communiquée à la flamme a réellement passé sur le conducteur qu'on en a approché. — Si on approche d'une flamme un conducteur chargé d'électricité, les pointes de vapeur de la flamme s'électrisent par influence, mais elles laissent échapper sans interruption l'électricité qu'elles reçoivent, et il reste à la flamme l'électricité par influence de *seconde* espèce, qui est semblable à celle du conducteur. Mais en même temps les pointes de vapeur électrisées exercent la même action que dans le cas qui précède, et cette action a le même résultat que si l'électricité des pointes avait passé au conducteur. Ces deux électricités n'étant pas semblables, le corps qu'on a approché perd continuellement la sienne. Mais cette perte n'est pas illimitée. En effet, comme l'énergie de l'électrisation des pointes de vapeur dépend de la densité électrique du corps qu'on approche, l'action des pointes doit cesser quand cette densité descend au-dessous d'une certaine limite. Ainsi la flamme n'enlève au corps qu'on en approche qu'une partie de son électricité, tant que les pointes de vapeur n'atteignent réellement pas ce corps, et n'agissent sur lui que par influence. Ce serait une véritable fatigue, que de poursuivre plus loin l'étude des phénomènes de la flamme; en outre, ce serait superflu, puisqu'on peut avec la même facilité les déduire tous de la même manière.

Si l'on entoure une pointe métallique d'un tube conducteur ouvert à l'une de ses extrémités, sa densité électrique diminue, et peut être réduite à zéro suivant les dimensions du tube. On a enfermé dans un cylindre de 13 lignes de hauteur, et de 9 lignes de diamètre, une pointe d'aiguille fine, ayant 3 $^1/_2$ lignes de longueur, et fixée sur un disque de métal. Quelque forte qu'ait été la charge électrique du disque, la pointe n'a point présenté d'électricité, et n'a par conséquent point exercé d'action sur un conducteur qu'on en a approché. Le même moyen, employé pour détruire l'action des pointes de vapeur d'une

flamme, ne réussit pas. J'ai répété l'expérience représentée dans la figure 3, avec cette différence que la flamme d'esprit-de-vin brûlait dans un tube de tôle ayant 27 lignes de hauteur et 9 ¹/₂ lignes de diamètre, et j'ai obtenu de l'électricité ; cependant le disque, placé dans une position verticale, s'est chargé d'électricité, quoique en quantité beaucoup moindre que précédemment. La cause en est évidente : le tube concentre le courant de vapeur ascendant, il se forme à son ouverture des pointes de vapeur qui exercent sur le disque vertical la même action que précédemment, seulement à une plus grande distance. La flamme qui brûle dans le tube de tôle, perd son électricité aussi complétement que celle qui brûle à l'air libre ; et si l'on fixe un conducteur au-dessus du tube, il devient aussi électrique que lorsque le tube a été enlevé. Ces expériences, dont on pouvait prévoir le résultat, acquièrent quelque importance par les faits qui sont consignés dans ce qui va suivre.

III. *Propriété électrique des corps en ignition.*

Les corps qui brûlent avec flamme ne sont pas les seuls qui possèdent à un si haut degré la propriété qui caractérise les pointes ; il faut encore y joindre les corps qui brûlent sans flamme, tels que l'amadou, les mèches, les pastilles à brûler. L'effet de ces derniers n'est pas produit par la vapeur, mais par les pointes qui se forment à la surface même du corps pendant la combustion. Il se forme à l'endroit où se consume la masse du charbon, par exemple, une cavité dont le bord est garanti contre la combustion par l'acide carbonique qui est produit dans ce phénomène. Là où plusieurs de ces cavités très-rapprochées viennent à se rencontrer, elles laissent entre elles une saillie formée par la substance que le feu n'a pas détruite, d'où résulte qu'une surface plane prend un aspect raboteux pendant la combustion. Mais, après que l'acide carbonique s'est dégagé par l'effet de la chaleur, et qu'un nouvel appel d'oxi-

gène en est résulté, chacune des petites aspérités commence à brûler de bas en haut, et disparaît ainsi peu à peu, jusqu'à ce qu'il n'en reste plus qu'une pointe, qui est détruite à son tour, et qui, d'après la manière dont le corps en combustion se comporte sous le rapport électrique, peut être regardée à peu près comme parfaite. En effet, tout ce que nous avons dit plus haut sur les pointes de vapeur, peut s'appliquer à celles-ci, avec cette seule différence, cependant, que les pointes de vapeur changent constamment de place dans l'air, tandis que les pointes de charbon restent à la surface du corps en combustion, et y sont sans cesse remplacées par de nouvelles.—Tous les effets électriques d'un corps en ignition s'expliquent parfaitement bien dans cette hypothèse, dont on peut d'ailleurs démontrer directement l'exactitude d'une manière décisive. En effet, si ce n'est pas à l'état d'ignition, ni à la vapeur qui s'élève, mais bien à la présence de la pointe que sont dus les effets en question, on doit aussi pouvoir les faire disparaître de la même manière que pour une pointe artificielle (voyez page 103). Or on y réussit complétement. J'ai fixé à des bâtons de gomme-laque, dans une position horizontale et à la distance de 5 $^1/_2$ pouces, l'un au-dessus de l'autre, deux disques de cuivre de 3 pouces 11 lignes de diamètre, et j'ai fait communiquer le disque supérieur avec un électroscope, l'inférieur avec le pôle d'une pile sèche, dont l'autre avait été mis en communication avec le sol (voyez planche I, fig. 4). Lorsqu'on a posé sur le premier disque un morceau d'amadou allumé, ayant un pouce de longueur, l'électroscope a divergé aussitôt de 5 à 6 lignes; mais on n'a pas aperçu la moindre divergence, lorsque l'amadou a été enfermé dans un cylindre de cuivre de 13 lignes de hauteur sur 9 lignes de large, quoique la fumée, s'élevant sous forme d'une colonne épaisse, allât frapper contre le disque supérieur, comme dans le premier cas[1]. Lorsqu'on a enlevé le tube, la

[1] A peine est-il nécessaire de dire qu'à chaque expérience il faut com-

divergence a reparu, et l'on pouvait ainsi alternativement rendre ou enlever à l'amadou son influence. On peut aussi, de la même manière, faire cesser la force dite d'absorption de cette substance en ignition. On a fait communiquer le disque supérieur avec la pile sèche, le disque inférieur avec l'électroscope, et on a mis sur ce dernier de l'amadou allumé. Si l'amadou était libre, l'électroscope divergeait aussitôt; était-il emprisonné dans le cylindre, aucun indice de divergence ne se manifestait. Enfin, lorsque le disque inférieur, lié avec l'électroscope, était électrisé au moyen d'un contact momentané avec le pôle de la pile sèche, de manière à déterminer une divergence de 13 lignes, qu'ensuite on mettait sur le disque l'amadou allumé, cette divergence disparaissait très-rapidement; mais elle persistait pendant un certain temps, lorsqu'on mettait le cylindre de cuivre sur l'amadou.

Il résulte clairement de toutes ces expériences, que la vapeur de l'amadou allumé ne conduit pas l'électricité, et que les effets électriques observés sont dus aux pointes qui se forment à la surface de l'amadou par suite de sa combustion. On peut obtenir les mêmes résultats avec une mèche de coton; mais avec des pastilles à brûler on n'en obtient pas d'aussi positifs, parce que leur fumée est un faible conducteur de l'électricité quand la combustion est active. Pour échapper à l'inconvénient provenant de la fumée, j'ai fait faire des chandelles d'un pouce de longueur, avec du charbon pulvérisé et une petite proportion de salpêtre, mêlés avec de la gomme adragant. Ces chandelles-là ne donnent point de fumée; et pour que la vapeur qui se formait ne pût déranger l'expérience, j'ai fait opérer la combustion de bas en haut. A cet effet j'ai fixé la chandelle au disque supérieur des deux disques de cuivre de 5

mencer par décharger l'électroscope en le touchant du doigt; sans quoi, au lieu de ne point obtenir de divergence, on en aurait une (de demi-ligne au plus), provenant de l'influence des corps métalliques, même dans le cas où l'on ne fait pas usage du corps en ignition.

pouces de diamètre placés l'un au-dessus de l'autre, et j'ai dirigé sa pointe vers le centre du disque inférieur (voyez pl. I, fig. 5). Les deux disques étaient, chacun séparément, en communication avec un électroscope ; le disque supérieur a été électrisé, et l'on a observé l'électroscope à des intervalles de demi-minute. Voici les résultats qui ont été obtenus :

	Intervalle de temps.	Electroscope supér. avec chandelle.	Electroscope inférieur.
Chandelle brûlant à l'air libre. . .	0 minut.	12 lign.	3 1/2 lig.
	1/2 »	3 »	2 1/4 »
	1 »	1 »	2 1/4 »
		(décharge)	2 1/4 »
Nouvelle chandelle enfermée dans un cylindre de 13 lig. de haut, 9 lig. de diamètre	0 minut.	12 1/2 lign.	0 lig.
	1/2 »	11 1/2 »	0 »
	1 »	10 1/2 »	0 »
	4 »	8 1/2 »	0 »

Ainsi, tandis que la chandelle, lorsqu'elle brûlait sans flamme à l'air libre, perdait en une minute presque toute l'électricité qu'elle avait reçue, elle en possédait encore la plus grande partie au bout de 4 minutes, quand elle était enfermée dans une enveloppe conductrice. Dans le premier cas elle électrisait le disque placé près d'elle, et celui-ci conservait son électricité quand on soutirait l'électricité de la chandelle au moyen d'un conducteur.; dans le second cas le disque ne prenait point d'électricité. Le même résultat a toujours été obtenu chaque fois qu'on a répété ces expériences. Ensuite j'ai changé aussi la position de la chandelle de charbon, et je l'ai fixée dans une position horizontale à un disque placé de champ, et mettant en face à 5 pouces de distance le second disque également de champ (voyez pl. I, fig. 6). Voici quels ont été les résultats d'une expérience semblable à celle qui précède.

	Intervalle de temps.	Electroscope n° 1 avec chandelle.	Electroscope n° 2.
Chandelle libre.	0 minut.	12 lig.	
	1/2 »	3/4 »	2 lig.
Chandelle dans le cylindre. . .	0 minut.	12 lig.	
	1/2 »	11 1/2 »	0 lig.
	1 »	10 1/2 »	0 »
	2 »	9 »	0 »

L'influence de l'enveloppe est également manifeste dans cette expérience. L'électrolysation de l'électroscope n° 2 n'est pas considérable, parce qu'elle a lieu dans un intervalle de temps durant lequel la chandelle, momentanément électrisée, perd sans interruption son électricité. Si l'on veut avoir de plus forts indices d'électricité, on n'a qu'à, sans donner au charbon une charge électrique plus forte, l'électriser d'une manière constante pendant un plus long espace de temps. Quand la chandelle de charbon est restée en communication avec le pôle de la pile sèche, l'électroscope n° 2 (du disque placé en face) a donné au bout de quelques secondes une divergence de 5 lig.; mais il n'en a donné aucune, même après le plus long intervalle de temps, lorsque la chandelle a été mise dans son enveloppe.

Jusqu'à présent, dans ces expériences dont j'ai fait varier la disposition uniquement à cause de leur importance, on a observé la perte d'électricité d'une chandelle brûlant sans flamme, et l'électrisation d'un conducteur placé à peu de distance; dans l'expérience qui va suivre, et qui a été faite avec la disposition indiquée dans la figure 6, on a cherché, au contraire, à étudier l'électrisation du charbon et la perte d'électricité du conducteur électrisé.

	Intervalle de temps		Electroscope n° 2.		Electroscope n° 1 avec chandelle.
Chandelle libre.	0	minut.	12	lig.	
	1/2	»	11 1/4	»	3 1/2 lig.
	1	»	11	»	3 1/2 »
	1 1/2	»	10 1/2	»	3 1/2 »
	2	»	10 1/3	»	3 1/2 »
	3	»	10	»	3 1/2 »
			(décharge)		3 1/2 »
Chandelle dans le cylindre.	0	minut.	12	lig.	0 lig.
	1/2	»	11 1/3	»	0 »
	1	»	»	»	0 »
	2	»	11	»	0 »
	3	»	10 3/4	»	0 »
Chandelle libre					3 »

Tandis que la chandelle de charbon brûlant à l'air libre a pris une quantité d'électricité capable de produire une divergence de 3 $^{1}/_{2}$ lignes, elle n'a absolument point pris d'électricité quand elle a brûlé dans son enveloppe. L'influence exercée par le charbon sur la perte d'électricité du disque le plus proche a été faible, ainsi qu'on devait s'y attendre. En effet, cela tient à ce qu'une chandelle de charbon, électrisée au point de faire diverger l'électroscope de 3 $^{1}/_{2}$ lignes, ne peut électriser que faiblement un disque placé à la distance indiquée dans le tableau ; c'est un cas semblable à celui qui s'est présenté à l'occasion de l'expérience sur l'action de la flamme. Je dois rappeler aussi, en passant, que ces dernières expériences, ainsi que toutes celles qui précèdent, sont entièrement contraires à l'opinion jusqu'à présent admise du passage de l'électricité du corps électrique au corps en combustion, puisque la perte d'électricité éprouvée par le premier ne présente qu'une faible différence, soit que la chandelle de charbon placée en face ait reçu de lui une quantité considérable d'électricité, ou qu'elle n'en ait point reçu.

Voici encore quelques expériences que je mentionnerai comme appendice. — Tout corps en combustion n'exerce pas une

action électrique au moyen de pointes de vapeur ou de pointes solides ; il faut encore, pour cela, que la vapeur qui en émane conduise l'électricité, ou que la substance du corps permette la formation des pointes. Le soufre peut nous servir d'exemple. La vapeur de soufre et l'acide sulfureux isolent l'électricité, et comme le soufre devient liquide avant de brûler, il ne peut point se former de pointes à sa surface. Le soufre brûlant en masse ne possède donc pas les propriétés électriques des corps en combustion. J'ai mis l'un au-dessus de l'autre deux disques de cuivre dans une position horizontale, et j'ai placé sur le disque inférieur une capsule de cuivre remplie de soufre, dont le fond avait un pouce carré de surface. Quand cette capsule a été entièrement remplie de soufre liquide en combustion, le disque supérieur, placé à la distance de deux pouces, a conservé toute l'électricité qui lui avait été transmise. Mais si on enlevait de la capsule, avec un bâton de verre, une goutte de soufre en combustion, cette goutte, tenue même à la distance de cinq pouces sous le disque, ravissait à celui-ci toute son électricité. Cela ne pouvait avoir qu'une seule cause, savoir que la vapeur était devenue conductrice par l'effet du libre accès de l'air (elle s'était transformée en acide sulfurique ?), comme le prouve le fait qu'un tube de tôle long de trois pouces, au-dessous duquel brûlait la flamme de soufre, n'a présenté aucun changement dans son action.

La lampe de Davy nous fournit un autre exemple. Elle brûle sans flamme; mais la vapeur, qui s'échappe en abondance, conduit très-bien l'électricité et exerce précisément la même action qu'une flamme conductrice. On a placé sur un disque de cuivre horizontal une lampe semblable dont l'hélice de platine était dans toute son étendue rouge-blanc clair ; à côté de ce disque on en a placé un second dans une position verticale, à 2 pouces 2 lignes de distance de l'hélice (voyez pl. 1, fig. 3) La lampe était enfermée dans un cylindre de cuivre. Si on communiquait de l'électricité à l'un des disques, l'autre devenait aussitôt élec-

trique, et celui-ci restait dans cet état, quand même on enlevait ensuite l'électricité du premier. Comme la lampe jusqu'au tour supérieur de l'hélice de platine avait 10 lignes de hauteur, que le cylindre dans lequel on la mettait avait 13 lignes de hauteur, et que le point le plus élevé du disque de cuivre placé à 2 pouces 2 lignes de distance, se trouvait à 1 pouce 10 lignes au-dessus de la base de la lampe, il en résulte que d'aucun des points de l'hélice de platine chauffée au rouge ardent l'on ne pouvait tirer à travers l'air une ligne droite qui allât tomber sur le disque. L'action électrique de la lampe n'est donc pas due au platine rouge ardent, ce qui sera d'ailleurs confirmé plus bas d'une curieuse manière.

Dans un grand nombre de flammes, l'action des pointes de vapeur et celle des pointes de charbon ont lieu l'une après l'autre. Par exemple, une bougie allumée exerce son action par ses pointes de vapeur ; si on l'éteint subitement, la vapeur conserve pendant quelques secondes sa conductibilité et son action ; puis elle perd cette propriété, et la mèche, abondamment humectée de cire fondue, reste sans action, en sorte que la bougie fumante n'exerce aucune influence sur un corps électrisé qu'on en approche. Quand la cire a cessé de monter dans la mèche, celle-ci cesse peu à peu de brûler, et les pointes de charbon formées à sa surface acquièrent une activité électrique. On peut ainsi rendre compte des nombreuses contradictions relatives à la conductibilité de la fumée d'une bougie éteinte.

IV. *Perturbations dans l'action électrique des corps brûlant avec ou sans flamme.*

Dans toutes les expériences qui précèdent, on a maintenu aussi complète que possible la combustion des corps. Pour l'activer, et en même temps pour chasser les cendres, on a fréquemment soufflé l'amadou et la chandelle de charbon, et l'on n'a fait usage de la lampe à esprit-de-vin et de la lampe de Davy

que lorsque la combustion était intense. Moyennant cette précaution, on a évité toute perturbation dans les effets qui ont été mentionnés. Mais il n'en est pas ainsi, quand la combustion des corps soumis à l'expérience ne s'opère pas d'une manière parfaite. La modification qui est survenue alors dans les expériences, loin de rendre douteux le principe relatif aux effets produits, en reçoit son explication et par conséquent sert à l'appuyer. Voici en quoi cette modification consiste. Je n'ai pas indiqué, dans chaque expérience, quelle était celle des deux électricités qui avait servi à la faire, parce qu'elle réussissait aussi bien avec l'une qu'avec l'autre. Mais si l'on modère la combustion, l'on voit telle expérience réussir avec beaucoup plus de facilité et de précision, quand on y emploie l'une des électricités plutôt que l'autre. Les chandelles de charbon en fournissent un exemple facile à reproduire. On a attaché, à l'un des deux disques placés verticalement en face l'un de l'autre à 5 pouces de distance (voyez pl. I, fig. 6), une chandelle de charbon qui était en feu et recouverte de cendres jusqu'à plus de la moitié de sa hauteur. Quand on a joint avec ce disque le pôle positif d'une pile sèche, l'électroscope qui communiquait avec l'autre disque a divergé lentement et tout au plus de 2 lignes; lorsque, au contraire, on a fait usage du pôle négatif, l'électroscope a divergé rapidement et de plus de 5 lignes. Voici le cas inverse : l'électroscope en communication avec la chandelle a divergé plus rapidement et plus violemment quand le disque placé en face avait reçu l'électricité positive, que lorsqu'il avait reçu l'électricité négative. Il semblait, si l'on peut parler ainsi, que l'électricité négative sortît plus aisément de la chandelle que la positive, et que celle-ci y entrât plus aisément que la négative. D'ailleurs, dans cette expérience encore, la chandelle n'exerçait plus aucune action quand elle était enveloppée dans le cylindre.

Il faut, pour expliquer ce singulier phénomène, se rappeler qu'il se fait un développement d'électricité lors de la combus-

tion du charbon, et que l'acide carbonique qui se dégage possède de l'électricité positive, tandis que le charbon donne de l'électricité négative [1]. Les pointes qui se forment sur le charbon en ignition, ont déjà originellement de l'électricité négative, et doivent par conséquent devenir plus fortement électriques et exercer une action plus énergique quand on leur donne de l'électricité négative que lorsqu'on leur transmet de l'électricité positive. Cette explication s'accorde si bien avec les résultats du même genre qui précèdent, que ce n'est pas de voir se produire le phénomène en question qu'on peut s'étonner, mais plutôt de ce qu'on ne l'observe pas plus fréquemment. A cet égard l'expérience nous apprend que l'électricité particulière du charbon allumé devient le plus fortement sensible lorsque le charbon brûle modérément ; Volta [2] déjà n'avait pu mettre cette électricité en évidence qu'à l'aide d'un faible courant d'air, et en ralentissant à dessein la combustion du charbon.

Le charbon exerce son action par ses pointes chargées d'électricité négative, et non par sa vapeur chargée d'électricité positive ; si le contraire avait lieu, cette action devrait, conformément à l'explication qui a été donnée plus haut, s'exercer précisément de la manière inverse sur les deux électricités. Il semblerait alors que l'électricité positive s'échappe plus aisément que la négative de la substance en combustion, et que l'électricité négative y pénètre plus aisément que la positive. Ce cas se présente dans la nature. Il existe une espèce de combustion dans laquelle il ne se forme pas de pointes sur le corps en ignition, et dans laquelle l'action électrique ne peut partir

[1] Il m'a été facile de m'en convaincre, en plaçant une chandelle de charbon allumée sur le plateau vissé d'un électroscope de Behren et Fechner, ou en la tenant sous un entonnoir de gaze métallique qui communiquait avec la branche de l'électroscope : dans le premier cas, l'instrument a donné immédiatement de l'électricité négative ; dans le second, de l'électricité positive.

[2] Voyez *Lettres météorologiques* (trad. allem.) *, p. 200.

que des pointes de vapeur fortement chargées d'électricité positive. C'est ce qui a lieu dans la lampe de Davy, et l'on connaît les singuliers effets électriques qu'elle produit ; Mr. Erman les a découverts il y a déjà bien des années, et en a fait le sujet d'un mémoire spécial [1]. J'ai placé une lampe de laiton dont l'hélice de platine était chauffée faiblement au rouge, à côté d'un disque de cuivre placé de champ, de façon que l'hélice se trouvât à 2 pouces 2 lignes du disque (voyez pl. I, fig. 3). La lampe, haute de 10 lignes, a été enfermée dans un cylindre de cuivre de 13 lignes de hauteur, et je me suis assuré qu'on ne pouvait voir l'hélice d'aucun point du disque vertical. Quand la lampe a été chargée d'électricité positive, l'électroscope en relation avec le disque a divergé aussitôt, et il a conservé cette divergence, même après que la lampe a été mise en complète communication avec le sol ; lorsque la lampe a été chargée d'électricité négative, l'instrument n'a présenté qu'une légère divergence. Quand, au contraire, on a chargé le disque vertical d'électricité négative, l'électroscope mis en relation avec la lampe a divergé à l'instant même ; mais il n'a présenté qu'une légère agitation, quand le disque a été chargé d'électricité positive. On voit donc se reproduire les mêmes phénomènes qu'on avait observés avec la chandelle de charbon ; seulement, dans les deux cas, c'est l'électricité contraire qui produit le même effet.

Pour étudier le dégagement électrique propre de la lampe, on l'a placée sur le plateau de l'électroscope de Behren et Fechner, dont les lames polaires étaient à 11 lignes de distance l'une de l'autre. Aussitôt il s'est manifesté de l'électricité négative, et avec une telle énergie, qu'il a fallu l'enlever de seconde en seconde, pour empêcher la feuille d'or d'aller frapper la lame polaire. Mais ce dégagement électrique énergique n'a eu lieu

[1] Sur une action particulière réciproque des deux principes électriques contraires. (Lu le 11 février 1819). Voyez *Mém. de l'Acad. des Sc. de Berlin*, 1819.

que lorsque l'hélice n'était que modérément rouge, et qu'elle ne l'était que dans ses tours supérieurs ; quand on la chauffait au rouge blanc dans toute son étendue, on n'obtenait qu'un très-faible indice d'électricité, ou même aucun absolument. Mr. Erman a fait la remarque expresse [1] que les phénomènes particuliers de la lampe ne se produisent que lorsque l'hélice de platine n'est chauffée au rouge que dans ses tours les plus élevés.

On a déjà vu plus haut l'explication de ces phénomènes. Ce sont les pointes de vapeur qui produisent l'action électrique dans la lampe de Davy ; et comme ces pointes possèdent de l'électricité positive particulièrement énergique, leur action est incomparablement plus puissante lorsqu'on leur communique de l'électricité de même nature, que lorsqu'on leur transmet de l'électricité négative.

SUR LES IMAGES ÉLECTRIQUES ET LES THERMOGRAPHIES, par E. KNORR [2]. (*Pogg. Annal.*, t. LXIII, p. 506.)

Longtemps avant que les expériences de Mr. le docteur Waidele me fussent connues, j'avais remarqué que lorsqu'on met en contact intime des plaques de cuivre gravées, parfaitement polies, ayant 1 $^1/_2$ pouce de diamètre, avec des plaques d'argent ou de cuivre polies avec soin, et n'ayant que le moins de raies possible, on n'obtient point d'images proprement dites, mais seulement des taches, tandis qu'on obtient aisément des

[1] *Mémoires de l'Acad. des Sc. de Berlin,* 1819, p. 12.

[2] L'auteur a donné deux autres articles sur le même sujet dans les volumes 61 et 62 des *Poggend. Annal.*

images très-nettes avec les mêmes plaques et les mêmes surfaces, quand elles sont séparées par des feuilles très-minces et très-étroites d'étain ou de mica. Ce résultat restait le même, soit que les expériences fussent faites à 10° ou à 18° R., et que le contact durât 3 ou 20 heures. Les images électriques présentaient un autre point de ressemblance avec les images de Moser. En effet, si, après l'expérience, le corps, la feuille interposée et la plaque adhéraient l'un à l'autre assez fortement pour qu'on pût avec le premier soulever les deux derniers sans que leur propre poids les détachât, et qu'il fallût une force notable pour opérer la séparation, on ne pouvait point faire naître d'image électrique au moyen de l'haleine, même alors que le nombre et la force des décharges donnaient droit d'attendre la production d'une image très-nette. Toutes ces expériences ne se font pas sans difficulté.

Quand l'expérience avait lieu dans les circonstances favorables à la production des images de Moser, je réussissais toujours à obtenir des thermographies ; cependant, sauf de rares exceptions, elles étaient toujours beaucoup plus faibles que lorsqu'il restait une distance sensible, même très-petite, entre la plaque et le corps.

Il semblerait donc, d'après cela et d'après l'observation qui avait déjà été faite dans mon second mémoire, que l'accès ou du moins la présence d'une couche d'air atmosphérique pur entre la plaque et le corps soit indispensable pour la production d'une image de Moser, d'une image électrique ou d'une thermographie. Les expériences suivantes ont été faites dans le but d'étudier ce sujet de plus près.

Cinq pièces de monnaie de platine et cinq d'or, soigneusement nettoyées, ont été mises sur deux plaques d'argent qui reposaient sur le fond horizontal d'un vase de porcelaine ; on a versé dans le vase de l'eau distillée qu'on avait encore fait chauffer avant l'expérience, et l'on a laissé ainsi pendant vingt heures en contact les pièces avec les plaques. L'air atmosphérique

n'avait ainsi aucun accès, et il ne pouvait être resté d'air que celui que l'inégalité des surfaces avait retenu entre les plaques et les pièces, l'eau n'ayant pas pénétré dans ces intervalles. Toutes les pièces ont donné des images que l'insufflation de l'haleine mettait aisément en évidence. Ayant fait sécher et ayant nettoyé les pièces et les plaques, j'ai répété l'expérience en versant d'abord l'eau sur les plaques, et plaçant ensuite dans l'eau sur les plaques les pièces humides. Au bout de vingt heures, aucune de ces dernières n'avait produit une image qu'on pût rendre sensible.

J'ai fait ensuite des expériences à l'aide de la pompe pneumatique. N'ayant pas immédiatement à mon service une cloche de verre munie d'une boîte à cuir en bon état, je m'y suis pris de la manière suivante. Après avoir mis les uns sur les autres les plaques et les corps, on les a posés sur le plateau de la pompe, isolé quelquefois du sol, et d'autres fois communiquant avec lui par un conducteur; on a recouvert le tout avec la cloche et on a raréfié l'air. J'ai fait usage, pour une série d'expériences, d'une pompe à robinet, de dimensions un peu colossales; elle est munie d'un appareil particulier pour faire mouvoir les robinets, et peut ainsi faire le vide jusqu'à demi-ligne de mercure, ou bien, jusqu'à $^1/_4$ de ligne quand on se sert de la main pour faire mouvoir les robinets. La grandeur de la cloche me permettait, à chaque expérience, de réduire en 5 ou 10 minutes la pression de l'air à 1 $^1/_2$ ou 1 ligne, de laisser entrer de nouveau l'air, et d'enlever les corps de dessus les plaques; on pouvait donc réduire à cet intervalle de temps, comme minimum, la durée du contact. Si on prenait des plaques qui eussent été rendues très-sensibles par le traitement à la chaux, et qu'on procédât comme il vient d'être dit, on obtenait toujours des images très-prononcées; mais les corps et les plaques, ces dernières surtout, au moment où on les sortait de la pompe, de dessous la cloche, étaient toujours passablement froides. L'image qui se formait dans un temps si court,

ne paraissait pas être altérée quand on laissait en contact pendant quelques heures les corps et les plaques, à la pression qui a été indiquée.

Les résultats obtenus ont été différents quand j'ai fait usage de plaques assez peu sensibles pour ne donner qu'au bout de 3 heures, avec libre accès de l'air, une image que la vapeur d'iode rendait visible. Si on laissait pendant 24 heures en contact les corps et les plaques sous la pression de 1 ou 2 lignes, il ne se formait point d'image proprement dite, mais seulement des taches, qui correspondaient à la grandeur de la partie de la surface du corps qui avait été en face de la plaque. Si cette surface surpassait en grandeur la plaque sur laquelle l'image devait se produire, on ne pouvait rien apercevoir sur cette plaque. En augmentant la pression jusqu'à 5 lignes, on ne faisait pas varier notablement les résultats ; cependant il m'a semblé souvent apercevoir, à ce degré de pression, un commencement d'image très-indistinct, sans pourtant que je puisse affirmer le fait d'une manière bien positive.

Les expériences ont été faites : 1° avec deux plaques de cuivre gravées ; cinq opérations avec chacune ; 2° avec deux pièces de monnaie de cuivre et trois d'argent ; cinq opérations ; 3° avec un petit flacon, un poinçon d'acier et un cachet de jaspe ; cinq opérations.

D'après cela il aurait dû se produire cinquante images, mais il n'y en a pas eu une seule de réellement visible. Deux fois j'ai mis sur les plaques les monnaies chauffées à une haute température.

J'ai observé, en outre, que tous les corps qui avaient été tenus sous la cloche de la pompe pneumatique pendant cinq fois 24 heures, avec des interruptions journalières de quelques minutes, donnaient plus difficilement et avec moins de netteté qu'auparavant, soit des images de Moser, soit des thermographies, dans les expériences ordinaires ; ces expériences ne réussissaient bien que lorsque les corps avaient séjourné pendant quelques jours à l'air sous des cloches de verre.

Une des plaques de cuivre présenta, au sortir de la pompe pneumatique, une thermographie distincte, quoique faible; mais ayant voulu, après cela, produire une image de Moser sur une plaque de cuivre sensible, je n'ai point obtenu de résultat distinct, même au bout de 24 heures. Alors j'ai recouvert la plaque gravée avec du tripoli qui avait longtemps séjourné à l'air, je l'ai laissée ainsi pendant une demi-heure, après quoi j'ai obtenu en trois quarts d'heure une image bonne et forte sur du cuivre. J'ai fait immédiatement une seconde expérience, sans recouvrir une seconde fois de tripoli la plaque de métal; et au bout de trois quarts d'heure également il s'est formé une image, mais beaucoup plus faible que la première; une troisième expérience a complétement manqué. Ces deux images m'ont paru présenter l'apparence de celles à la production desquelles l'humidité a la plus grande part.

Après ces expériences j'en ai fait d'autres avec une cloche munie d'une boîte à cuir, de façon que le corps n'était pas en contact avec la plaque pendant qu'on faisait le vide, mais qu'on ne l'y mettait que plus tard en l'abaissant sur la plaque, après un espace de temps plus ou moins long à volonté. Pour les expériences sous le vide de la pompe, je n'ai choisi que des plaques qui, immédiatement auparavant, avaient produit avec le corps, en moins d'une heure, une image nette et facile à rendre visible par la projection de l'haleine. J'ai toujours fait en même temps des expériences correspondantes, avec quatre corps au moins, sur deux plaques qui avaient été traitées de la même manière que celles qui étaient placées sous la cloche de la pompe, et toujours ces expériences ont donné, sans exception, des images nettes et faciles à rendre visibles avec l'haleine. Je vais rapporter ici avec détail ces dernières expériences, telles que je les trouve consignées dans mon journal.

Tableau A.

Numéro de l'expérience.	Pression de l'air.	DURÉE — Temps écoulé entre l'entier épuisement de l'air et le placement du corps.	DURÉE — Durée du contact.	CORPS.	PLAQUE.	RÉSULTAT.
1	10 lign. au bout de 3 h. 18 lignes	1 minut.	3 heur.	Poinçon d'acier.	Cuivre.	Tache ; pas d'image, ni avec l'haleine ni avec l'iode.
2	5	1	17	id.	id.	Comme ci-dessus ; tache négative avec faible condensation de la vapeur d'iode ; tout autour un très-faible anneau clair, de moins en moins distinct, et qui prenait plus de netteté quand on projetait l'haleine sur la plaque iodée.
3	2	1	3	id.	id.	Tache, beaucoup plus faible que dans l'expérience précédente ; d'ailleurs le même phénomène.
4	3	1	2	id.	id.	Exactement comme pour la troisième expérience.
5	3	1	15	id.	Argent.	Tache faible.
6	3	1	15	Cuivre gravé.	Cuivre.	Tache faible.
7	8	2 heur.	2	id.	id.	Tache à peine sensible sous l'action de l'iode, et qui devenait un peu plus distincte quand on projetait l'haleine sur l'iode.
8	8	2	14	id.	id.	Tache à peine sensible sous l'action de l'haleine ; tache négative avec l'iode, qui paraissait confuse à l'intérieur, et qui laissait apercevoir une image extrêmement faible quand on projetait l'haleine sur la plaque iodée.
9	7	1 1/2	2	id.	id.	L'haleine ne produisait rien ; l'iode une image à peine distincte.
10	5	2	17	id.	id.	Tache négative.
11	5	1 1/2	4	id.	id.	Comme pour l'expérience n° 9.

					noirci d'un côté.	A la première légère projection de l'haleine, une belle image bien nette, qui est devenue de plus en plus faible; après la cinquième projection, plus que de faibles traces de l'image. Après une exposition du verre à l'air pendant 10 minutes, toute trace de l'image avait disparu. Auparavant la même plaque, exposée à l'air avec le même corps, avait donné en 4 heures des images solides très-belles.
14	5	1 1/2	4	id.	id.	Rien.
15	5	1 1/2	17	id.	id.	id.
16	5	1 1/2	4	id.	id.	id.
17	5	1 1/2	4	Cristal de roche taillé.	Cuivre.	Tache faible.
18	8	1	13	id.	id.	id.
19	5	1 1/2	4	id.	Verre poli	Rien.
20	5	1 1/2	15	id.	id.	id.
21	5	2	4	id.	Cuivre.	id.
22	5	5	12	id.	id.	id.
23	5	5	19	id.	id.	La plaque avait été à dessein nettoyée avec du velours qui n'était pas entièrement propre; la projection de l'haleine a donné une image très-faible; l'iodation seulement une tache.
24	5	4	23	id.	id.	Rien.
25	5	2	2	id.	id.	id.
26	5	4	21	id.	id.	Tache à peine sensible.
27	2 pouc.	2	3	id.	id.	id.
28	4	1 1/2	4	Cuivre gravé.	id.	Bonne image avec une légère projection de l'haleine; image peu visible après l'iodation.
29	1	2	3	Cristal.	id.	*Il y avait sous la cloche un vase rempli d'eau.* Une image faible et déjà en partie effacée devenait visible même sans condensation de vapeurs; une coloration en jaune la détachait du fond de la plaque. Rendue plus visible par l'iodation de la plaque, elle est pourtant restée informe.
30	1	2	17	id.	id.	Comme à l'expérience qui précède; image plus nette, mais aussi informe.

Il semble donc, d'après ces expériences, qu'il faut, entre les plaques et le corps, de l'air atmosphérique à une certaine tension pour produire une véritable image de Moser, et je crois être autorisé à rejeter l'assertion par laquelle Mr. Karsten prétendait que les thermographies, dans le cas même où il serait incomplétement démontré qu'elles sont dues à des oxidations, n'ont rien de commun avec les images de Moser; cette dernière circonstance tendrait, au contraire, à faire croire que les thermographies sont des images de Moser d'un degré supérieur. Mais les dernières expériences sont aussi très-favorables à l'idée du docteur Waidele, et présentent un résultat semblable à celui de sa sixième expérience[1]. Cependant je dois faire observer, quant à cette dernière, que les plaques bien préparées, selon Mr. Waidele, sont, d'après mes expériences, au nombre des plaques insensibles. Elles donnent bien des images, mais seulement au bout de plus d'une heure quand on opère avec des corps soigneusement nettoyés; au bout de 12 à 20 heures même, les images étaient encore très-faibles, et on eut de la peine à les rendre visibles par la condensation des vapeurs de mercure. Il en a été de même avec des plaques d'argent qu'on avait fait bouillir d'après le procédé de Daguerre; deux plaques de cuivre que j'ai soumises à diverses reprises à ce même traitement, ont toujours présenté ensuite une altération dans la couleur; six expériences, dans lesquelles je les ai employées, ont été complétement inutiles; au bout de 20 heures on n'a pas même aperçu des taches sensibles.

En résumant maintenant tous les phénomènes relatifs à l'objet en question, qui sont parvenus à ma connaissance, soit par mon expérience propre, soit par les travaux d'autres physiciens, je suis nécessairement conduit à penser que la manière la plus facile d'expliquer la plupart d'entre eux c'est d'admettre les principes suivants :

[1] *Annal.* t. LIX, p. 266.

Des images du premier ordre ainsi que du second peuvent se produire :

1° Par une évaporation inégale et partielle soit application de substances étrangères, adhérentes aux corps ou aux plaques [1] et qui se transmettent ainsi, inégalement et par places, soit des corps aux plaques, soit de celles-ci aux corps. Si ces substances adhèrent dès l'abord, ou seulement après leur condensation, uniquement à la plaque, on n'obtient d'ordinaire qu'une image du premier ordre; mais si ces substances peuvent se combiner chimiquement avec la plaque, on obtient une image du second ordre, soit déjà à une basse température, soit plus tard à une température élevée, selon que l'une ou l'autre est favorable à la combinaison;

2° Par une inégale absorption des gaz ou des vapeurs de la part de la plaque aux dépens du corps, ou réciproquement; ou par une semblable absorption opérée des alentours, quand il y a obstacle à ce qu'elle soit uniforme. Cette inégalité peut tenir à des actions électriques, ou à l'influence de la chaleur, conformément aux expériences connues et qu'il est superflu de rappeler ici. Selon le degré d'énergie de ces actions, on obtient des images du premier ou du second ordre, et toujours faut-il encore faire attention s'il y a ou s'il n'y a pas combinaison ou modification chimique.

La lumière doit-elle être mise au nombre des causes qui peuvent opérer une inégale absorption des gaz? Les expériences que j'ai faites moi-même me portent à en douter. Pendant les longs jours de l'été que nous avons ici (à Kazan), je n'ai pu reconnaître aucune trace d'image sur des surfaces d'argent parfaitement bien nettoyées, quand même les plaques avaient séjourné dans la chambre obscure pendant un intervalle de 20 minutes jusqu'à 72 heures. Mais, pour ne pas se tromper, il faut avoir

[1] Sous cette dénomination j'entends ici particulièrement les surfaces sur lesquelles l'image doit se former.

soin, dans ces expériences, de se servir d'une chambre obscure dans laquelle il n'ait pu y avoir aucune absorption de vapeurs d'iode ou de brôme. Si, à l'aide des principes que nous avons posés plus haut, on peut parfaitement bien expliquer la plupart des phénomènes dont il est ici question, ainsi que le docteur Waidele l'a déjà rigoureusement démontré en partie, il n'en reste pas moins encore quelques-uns dont je n'ai pu jusqu'à présent me rendre compte d'une manière satisfaisante.

Par exemple, il semble que des images du premier ordre qui appartiennent à la seconde catégorie, et qui, produites par l'absorption de certaines parties de l'air atmosphérique, n'ont pas été fixées, doivent disparaître peu à peu. En effet, on obtient aussi des images qui disparaissent si totalement au bout de quelques heures, de quelques jours ou semaines, qu'on n'en peut plus apercevoir une trace. Au contraire, j'en ai obtenu d'autres que je ne pouvais réellement pas ranger dans la première catégorie, et qui au bout de six mois reparaissaient encore très-distinctement sous la projection de l'haleine. Quelques-unes même de ces images sur cuivre étaient devenues immédiatement visibles; il s'était formé du protoxide de cuivre sur les points occupés par elles. Les thermographies pénètrent quelquefois à une grande profondeur dans les plaques de cuivre ou d'argent; ainsi j'ai poli neuf fois de suite une plaque Daguerre, et toujours à chaque nouvelle exposition à la chaleur l'image reparaissait; elle reparut même plus forte et plus nette à la seconde et à la troisième, et ne fut détruite que lorsque j'eus poli la plaque pour la dixième fois.

L'image avait pénétré si avant dans une plaque argentée voltaïquement, que je fus obligé, pour la détruire, d'enlever tout l'argent par le polissage.

Une autre plaque galvanique argentée prit, sous l'action de la chaleur, une couleur grise prononcée, et ne donna qu'une image informe, et il en fut de même dans une deuxième et une troisième expérience faites avec la même plaque, mais réunie à

d'autres corps. On découvrit que, pour faire plus vite, l'ouvrier l'avait amalgamée avec du mercure. En la polissant, je fis disparaître la troisième image, après quoi j'essayai d'enlever le mercure par le moyen de la chaleur. Pendant que la température était encore faible, la troisième image reparut, mais disparut promptement; puis bientôt se montra la deuxième, qui disparut également vite; enfin, quand la température de la plaque fut proche de la chaleur ardente, on vit apparaître la première image, beaucoup plus nette que d'abord et distincte jusque dans les traits les plus fins; elle surgit subitement, comme de l'intérieur de la plaque, et fut visible pendant plusieurs secondes.

On peut aisément, à l'aide de l'exposition simultanée à la chaleur, ainsi que je l'ai indiqué, transporter sur cuivre ou sur argent des thermographies faites sur argent; mais il est difficile d'en obtenir des images de Moser : sur 25 expériences de ce genre, deux seulement m'ont réussi, sans que je puisse savoir pourquoi les 23 autres ont manqué. On ne peut attribuer ce fait à l'absence d'inégalités à la surface des thermographies; l'expérience suivante en fournit la preuve.

On remplit avec une pâte faite de tripoli et de gomme arabique les creux d'une plaque de cuivre gravée, et quand cette pâte se fut durcie, et qu'on eût de nouveau soumis la plaque à une forte chaleur pour chasser ce qui pouvait rester d'humidité, on polit la plaque jusqu'à ce que sa surface fût de niveau avec le tripoli : alors elle donna des images de Moser non-seulement aussi bonnes, mais même un peu plus nettes qu'auparavant.

On m'avait communiqué un fait qui passe ici pour être assez généralement connu, savoir qu'on peut souvent, à l'aide de la chaleur, rendre de nouveau visible l'empreinte des pièces de monnaie qu'un long usage a peu à peu oblitérée. Pour m'en assurer, je me suis procuré deux pièces de dix copeks, qui sont à peu près de la grosseur d'un gros d'argent (Silbergroschen) prussien, et sont frappés à peu près dans le rapport de 83 1/3

à 96, c'est-à-dire environ au titre de 0,750 (12 lœthig). Les armoiries de l'une de ces pièces, et les lettres de l'autre étaient tellement usées qu'on n'en pouvait plus rien distinguer. Je frottai les pièces avec du papier d'émeri fin, jusqu'à ce que les faces en fussent nettes et brillantes ; puis je les exposai à la chaleur d'une flamme de bougie, la face polie tournée en haut. On ne vit apparaître aucune trace des armoiries ; mais les lettres se montrèrent distinctement dans toutes leurs parties. L'empreinte consistait en une couronne, au-dessous de laquelle était le nombre 10 ; puis venait le mot copeks, ensuite un trait, et enfin en très-petit caractère les lettres russes S. P. B., qui désignent l'hôtel de la monnaie ; on n'apercevait pas une trace de la guirlande qui entoure ordinairement le tout. Je frottai de nouveau la pièce avec le papier, jusqu'à ce que tout ce qui s'était montré semblât détruit, et je chauffai de nouveau ; les trois dernières petites lettres seules ne reparurent pas. L'expérience fut répétée une troisième fois : la couronne devint visible, ainsi que le nombre 10 et trois lettres du mot copeks. Je recommençai pour la quatrième fois, mais je n'obtins aucun résultat. La loi défendant en Russie de travailler pour aucun usage quelconque les pièces de monnaie du pays, j'ai fait laminer une pièce de cinq réaux d'Espagne de manière à ne lui laisser qu'environ le double de l'épaisseur d'une carte ordinaire. Cette plaque à été ensuite soudée et extrêmement polie ; et malgré cela, quand ensuite j'ai produit une thermographie, opération qui a très-bien réussi, les traces déformées de l'empreinte ont reparu d'une manière si distincte qu'on ne pouvait hésiter à reconnaître le côté qui avait porté l'effigie et celui où avaient été les armoiries. Il a fallu chauffer la plaque deux fois au rouge, et la polir trois fois avec du charbon, avant de faire disparaître les traces de l'empreinte, qui d'ailleurs se reproduisaient distinctement sur des plaques de cuivre polies qu'on faisait chauffer en même temps.

On m'a assuré qu'on pouvait observer sur des pièces de

monnaie de cuivre les mêmes phénomènes que ceux que je viens de mentionner sur des pièces de monnaie d'argent.

Les derniers faits que je viens de rapporter m'engagent à ajouter le principe suivant à ceux que j'ai déjà énoncés :—Dans des circonstances convenables on peut, à l'aide d'une action inégale de la chaleur, déterminer dans les corps métalliques, jusqu'à une certaine profondeur au-dessous de la surface, des modifications analogues à celles que ces corps subissent sous le balancier par l'effet d'une compression inégale.

On sait depuis longtemps que si on efface à la lime l'empreinte d'une pièce de monnaie, elle reparaît quand on se sert de la pièce comme élément d'une pile voltaïque ordinaire. Ces phénomènes, rapprochés de ceux que j'ai exposés ci-dessus, méritent un plus ample examen ; mais n'ayant pas l'occasion de l'entreprendre moi-même, je dois me contenter d'attirer l'attention sur ce sujet.

SUR LE COURANT DE CHARGEMENT DE LA BATTERIE ÉLECTRIQUE, par Mr. DOVE. (Extrait des séances de l'Académie de Berlin, *Institut* du 19 mars 1845.)

Si on met en communication le conducteur de la machine électrique, au moyen d'un fil de platine, avec la garniture interne d'une batterie non chargée de bouteilles de Leyde, l'électricité libre qui se développe à l'une des extrémités du fil (du côté du conducteur) se combine avec celle de l'autre extrémité (du côté de sa garniture interne). D'un autre côté, si on met en communication l'armature extérieure d'une batterie chargée avec celle interne, l'électricité positive qui devient libre à l'une des extrémités de fil neutralise celle également libre et négative

à l'autre extrémité. Dans les deux cas, le fil est parcouru par un courant électrique. Une batterie non chargée se trouve chargée au moyen du premier courant, et une batterie chargée est déchargée au moyen du second, de façon qu'on peut nommer le premier *courant de chargement* ou *chargeur*, et le second *courant de déchargement* ou *déchargeur*. Si, pour un grand nombre d'expériences sur le courant de déchargement, on n'en possède encore qu'un très-petit sur le courant chargeur, cela provient uniquement de ce que le courant provoqué de cette manière, ou par le chargement d'une batterie par cascade, est extrêmement faible. Pour répondre à la question de savoir si un pareil courant chargeur possède des propriétés identiques au courant déchargeur, il est indispensable de renfermer la durée de ce courant chargeur dans un espace de temps aussi court que celle pour le courant déchargeur. On peut y parvenir par le moyen suivant, à l'aide duquel on obtient des courants de telle intensité qu'on désire, avec tous les caractères d'une durée instantanée, sans production d'étincelles dans un conducteur métallique non interrompu.

De deux batteries égales entre elles et reposant sur des isoloirs distincts, et composées chacune de 16 bouteilles de litre, l'une d'elles a été chargée jusqu'à un degré déterminé au moyen des étincelles produites par une bouteille de Lanes. L'armature extérieure de la batterie chargée, isolée de nouveau, fut alors mise en communication, à l'aide d'un fil, avec l'armature externe de la batterie non chargée, et la communication des armatures intérieures opérée ensuite par un excitateur métallique. Au moment où l'étincelle jaillit sur le fil interne de communication, et que l'électricité accumulée sur une armure interne se fut répandue sur les deux armatures internes, la même chose s'établit sans apparence d'étincelles, au moyen du fil de communication extérieure, pour les deux armatures extérieures. Ce procédé réussit non-seulement pour les décharges principales qui ont lieu à distance explosive, mais encore pour les petites

étincelles consécutives qui se montrent ou suivent les premières étincelles, jusqu'à ce que le contact métallique soit opéré complétement. Il en résulte, pour les deux fils de communication, des courants chargeurs dans lesquels passent les mêmes quantités d'électricité, mais avec cette différence, qu'on a évité la production des étincelles dans les courants extérieurs. Quant à l'intensité de ces courants, elle dépend de la charge à l'origine et du rapport de la grandeur des armatures dans la batterie chargée et dans celle qui ne l'est pas. Cette intensité est d'autant plus grande pour un même chargement de la première batterie, que la surface armée de la seconde batterie est plus considérable. Après le passage des deux courants chargeurs, les deux batteries sont chargées. Si on les sépare de nouveau, les électricités positive et négative du fil qui établit le circuit, s'égalisent par la décharge de la deuxième batterie, électricités qui se mouvaient précédemment chacune à part dans deux fils de communication. Pour s'assurer de l'identité d'action entre les courants chargeur et déchargeur, il suffit, par conséquent, de comparer les effets qui résultent du déchargement de la seconde batterie avec l'effet de chacun des deux courants mentionnés précédemment.

Dans toutes les expériences qui vont suivre, tous les appareils rhéométriques ont été isolés en particulier.

1. *Induction*. On a introduit dans le fil de communication extérieur une spirale d'induction cylindrique, qui, extérieurement, était entourée par une spirale secondaire. La décharge d'induction s'est trouvée devenir plus forte à l'aide d'un faisceau de fils de fer, et affaiblie avec une tige massive de fer. Telles sont, en effet, les propriétés qui distinguent principalement le courant d'induction produit par le courant déchargeur de la batterie électrique, des courants d'induction produits par d'autres forces d'électricité. Elles s'appliquent également au courant chargeur ; d'ailleurs, elles sont indépendantes de la circonstance de savoir si le courant a été produit ou non par une

étincelle. Pour le démontrer, on a introduit simultanément dans le fil de communication intérieur une spirale d'induction semblable à la précédente, et on l'a enveloppée d'une spirale secondaire identique aussi à celle ci-dessus. Ces deux spirales secondaires, égales entre elles, ont été mises en communication de la même manière. Chacun des deux courants chargeurs a produit par induction, dans la spirale secondaire, un courant secondaire ; et comme ces deux courants circulaient en sens contraire, les deux courants secondaires ont été réunis dans des fils secondaires en un tout métallique. Il en est résulté un équilibre de courant parfait, d'où on peut conclure que l'interruption de l'arc de communication par un point qui émet des étincelles, n'exerce aucune influence sur les effets d'induction du courant chargeur.

2. *Etincelles*. Si on interrompt le fil de communication extérieur, il résulte, au même moment où l'étincelle jaillit du fil de communication intérieur, une étincelle bruyante, d'un éclat blanc, au point d'interruption du fil extérieur. Si on introduit dans le fil de communication intérieur un fil végétal humide, l'étincelle prend alors une couleur jaune-rougeâtre et ne résonne que faiblement. Le même changement se présente au point d'interruption du fil de communication extérieur, dans lequel on n'a pas introduit de bout de fil humide.

3. *Effets galvaniques*. Si on introduit un galvanomètre dans le point d'interruption du fil de communication extérieur, cet instrument n'est nullement affecté lorsque les armatures intérieures, sans interposition d'un fil végétal humide, sont mises en communication métallique par une étincelle blanche, bruyante; mais, au contraire, il est fortement affecté lorsqu'on introduit dans le fil intérieur un fil végétal humide.

4. *Aimantation de l'acier*. L'aimantation d'une aiguille d'acier renfermée dans une spirale s'opère très-énergiquement dans le premier cas, et très-faiblement dans le second.

5. *Effets physiologiques*. Si on complète l'interruption du

fil extérieur au moyen du corps humain à l'aide de poignées, il y a choc très-vif dans le premier cas, et très-insignifiant dans le second.

On n'a pas remarqué qu'il y eût de différence dans l'énergie du choc lorsque les poignées étaient saisies à pleine main ou seulement entre deux doigts ; seulement, dans ce dernier cas, la sensation dans les doigts était extrêmement douloureuse.

6. *Percement des conducteurs imparfaits.* Si on décharge une batterie à travers une carte au moyen de deux boutons métalliques qu'on en rapproche, mais dont la ligne de jonction passe obliquement à travers cette carte, il en résulte, ainsi que Lullin l'a démontré, que le percement de la carte ne s'opère pas à une distance égale entre les deux boutons, mais a lieu dans le vide, plus près du bouton de l'armature négative. La même chose a lieu avec le courant chargeur. Si l'armature de la batterie chargée est positive, la carte est percée au bouton de la batterie non chargée, tandis que, si elle est négative, la carte est percée au bouton de la batterie chargée.

Trémery a fait voir que lorsque la décharge de la batterie s'opère à travers une feuille d'étain placée entre deux feuilles de papier et dans une direction inclinée par rapport à la feuille, cette feuille est courbée, détériorée ou percée tant au-devant du bouton négatif que du bouton positif; et il explique cet effet en supposant que les deux électricités libres, pendant qu'elles agissent pour séparer celle de la feuille d'étain, non-seulement sont attirées l'une par l'autre, mais de plus par les électricités produites par cette séparation. La même chose a lieu pour le courant chargeur. On remarque constamment sur la feuille d'étain deux points où cette feuille est tourmentée, courbée ou déchirée : l'un qui correspond au bouton de la batterie chargée, et l'autre à celui de la batterie non chargée.

Relativement à l'unipolarité du savon qu'on obtient par les effets galvaniques, on a recherché, après avoir introduit ce corps dans le fil de communication extérieur, s'il se mani-

festait une différence lorsque le courant chargeur était positif ou négatif. Il en est résulté, dans les deux cas, un courant identique, et qui ne différait qu'en ce qu'il marchait dans une direction contraire.

7. *Chaleur*. La chaleur du courant chargeur dans le fil de communication extérieur, mesurée à l'aide d'un thermomètre électrique, a été la même que lorsque ce fil de communication a été employé au déchargement de la seconde batterie. Dans le premier cas, le déchargement a lieu sans formation d'étincelles, et dans le second avec étincelles.

Il résulte des expériences entreprises :

1° Qu'il peut se manifester dans un fil de communication homogène des phénomènes de retard absolument semblables à ceux qu'on observe dans un fil composé de plusieurs conducteurs ;

2° Que les courants primaires de durée momentanée se développent suivant une intensité quelconque sans formation d'étincelles, et présentent des propriétés identiques à celles des courants qui ne se propagent qu'avec formation d'étincelles ;

3° Si on excite une électricité libre positive à l'extrémité *a* d'un fil *ab*, et qu'on réunisse cette extrémité à l'extrémité *b*, il en résulte les mêmes effets de courant que si on avait fait naître de l'électricité libre positive à l'extrémité *a*, et de l'électricité libre négative à l'extrémité *b*, et toutes deux se neutralisent dans le fil, c'est-à-dire que le courant chargeur, tant positif que négatif, présente des effets identiques à ceux du courant déchargeur.

Si on met en communication les armatures extérieures de deux batteries isolées de même force, dont l'une est chargée intérieurement positivement aussi fortement que l'autre l'est aussi intérieurement, mais négativement, il en résulte, lorsqu'on met en communication les armatures internes à l'aide d'un excitateur, un courant déchargeur dans le fil de communication extérieur sans formation d'étincelles, tandis qu'il se produit dans le fil intérieur un courant en direction opposée avec formation

d'étincelles. Les deux batteries sont alors parfaitement déchargées. On peut donc exécuter sur ces deux courants déchargeurs les mêmes expériences que sur les deux courants chargeurs mentionnés précédemment. Mais il est très-difficile, peut-être même impossible, d'arriver pour les deux batteries à une similitude parfaite dans la condition des deux batteries. Quand on ne peut y parvenir, il en résulte qu'après l'apparition de l'étincelle à l'armature interne, les deux batteries sont chargées de la même manière et dans le sens de la plus puissante, car au courant déchargeur succède presque instantanément un courant chargeur dirigé dans la même direction, tandis que l'excès qui reste par le déchargement d'une batterie se partage aussitôt entre les armatures des deux batteries.

Le courant chargeur présente aussi cet avantage, c'est qu'on peut, pour ainsi dire, l'obtenir gratuitement, attendu que les deux batteries, lorsqu'après l'apparition de l'étincelle sur l'armature intérieure elles restent unies, sont chargées exactement de la même manière que si l'armature interne de la batterie associée se trouvait, pendant le mouvement de rotation de la machine, en communication immédiate avec le conducteur de celle-ci. Si on applique ce courant chargeur, on obtient, pour un nombre déterminé de tours du disque, le même effet que précédemment avec le courant double.

SUR LES MÉTHODES EMPLOYÉES POUR MESURER LA RÉSISTANCE QUE LES LIQUIDES OPPOSENT AU COURANT ÉLECTRIQUE, par Mr. POGGENDORFF. (*Séances d'août* 1844, *de l'Acad. des Sc. de Berlin, Institut* du 25 décembre 1844.)

Des recherches sur le phénomène de la polarité, qui avaient nécessité une connaissance plus précise de la résistance que les

liquides opposent, ont donné à l'auteur l'occasion de s'occuper de la détermination de cet élément, et, en conséquence, de soumettre à des épreuves les méthodes employées jusqu'ici, ainsi que quelques-unes qui n'ont point encore été essayées [1].

La comparaison et l'appréciation de ces méthodes forment l'objet du présent mémoire, dont nous allons donner une analyse que quelques-uns de nos lecteurs pourront trouver longue et minutieuse ; mais, avec quelque réflexion, ils reconnaîtront que tout l'intérêt d'un tel travail repose dans des détails d'expériences dans l'exposé desquelles il est indispensable d'entrer pour en donner une idée suffisante.

La première méthode dont l'auteur a fait l'essai est celle dont Mr. Fechner a fait usage, mais perfectionnée d'après les progrès récents de la science. Cette méthode consiste à faire passer le courant d'une pile constante à travers des longueurs de fil successives l, l' de deux grosseurs différentes, et à calculer par la formule

$$i = \frac{k}{r+l}\,; \qquad i' = \frac{k}{r+l'}$$

la valeur de la résistance principale r; à comprendre ensuite dans le circuit de la pile une cellule remplie du liquide qu'on veut éprouver; à répéter les mesures, et à calculer par des formules analogues (dans lesquelles k, comme précédemment, exprime la force électromotrice de la pile constante, p la polarité des plaques qui entrent dans le circuit et w la résistance du liquide)

$$i'' = \frac{k-p}{r+w+l''} \qquad i''' = \frac{k-p}{r+w+l'''}$$

[1] Sous le nom de liquides on entend les solutions aqueuses et les sels en fusion décomposables ou susceptibles de polarité, mais non les métaux fluides.

la valeur de $r + w$, qui, lorsqu'on en a soustrait r, fait connaître la résistance w du liquide.

Lorsqu'on étend ce procédé de manière que par plusieurs longueurs successives de fils ajoutés l^{v}, l^{v}..., on forme une série entière de forces de courant, et qu'on calcule la valeur de $k—p$ et w de la manière indiquée, soit d'après la première observation et chacune des suivantes, soit par deux observations, on trouve, particulièrement dans le dernier cas, que ces deux valeurs sont d'autant plus fortes que l^{II} l^{III} l^{IV} sont plus grands, et par conséquent i^{II} i^{III} i^{V} plus petits.

Il semble qu'il devrait en résulter que les grandeurs $k—p$ et w sont variables, toutes deux dépendant de la force du courant; mais cette conclusion, ainsi que l'auteur a déjà eu occasion de le démontrer dans un précédent mémoire, n'est pas exacte, attendu que le mode de calcul considère ces grandeurs comme constantes, tandis qu'elles ne le sont pas ; par conséquent ce mode n'est pas applicable. Seulement le résultat précédent fait présumer que lesdites grandeurs ne sont pas constantes, sans déterminer avec certitude si toutes deux sont variables, ou si l'une d'elles seulement et laquelle d'entre elles est dans ce cas.

Posons toutefois l'hypothèse que l'une d'entre elles seule est variable. Si, dans cette hypothèse, on prend une série de forces de courant, suivant la méthode indiquée ci-dessus, et qu'on calcule d'abord d'après les deux premières d'entre elles la valeur de $k—p$ et w comme précédemment, et que l'on considère alors pour les forces de courant suivantes l'une ou l'autre de ces valeurs comme constante, on obtient dans ce cas le résultat suivant. Si la force électromotrice complexe $k—p$ est considérée comme constante, on a pour une force de courant décroissante une *diminution* et même très-considérable de la résistance w du liquide. Si on prend w pour constante, on a encore, comme dans le cas où $k—p$ et w ont été dans le calcul considérés comme invariables, un *accroissement* de la

force $k—p$ avec une diminution de la force du courant, mais qui est infiniment moindre.

Evidemment cette dernière hypothèse est beaucoup plus vraisemblable que la première, d'une part à cause de la variation moindre qu'elle comporte pour l'élément considéré comme variable, et de l'autre et principalement parce que la diminution de la polarité p par la diminution de la force du courant, diminution dont dépend l'accroissement de la force complexe $k—p$, est un fait indubitable, ainsi que l'auteur l'a déjà démontré autre part. Mr. Poggendorff paraît, en conséquence, disposé à accorder la préférence à cette dernière hypothèse, et par conséquent en même temps à douter de l'existence de la résistance de translation ou du moins d'une résistance variable de ce genre, quoique lui-même l'ait admise précédemment d'après les effets, encore douteux néanmoins sous plusieurs rapports, d'un courant oscillant avec vivacité. On ne peut affirmer avec quelque certitude, dans l'état de la science, et peut-être en sera-t-il toujours ainsi, que p soit toujours variable avec w, mais Mr. Poggendorff croit qu'il est à peu près certain que le phénomène sur lequel Mr. Fechner a basé la supposition d'une résistance de translation, savoir, l'augmentation de la résistance w avec la diminution de la force du courant, a eu pour origine principalement une application manquant d'exactitude de la formule de Mr. Ohm.

D'après ce qui vient d'être dit, il est clair que le procédé en question ne saurait être employé en général à la détermination de la résistance des liquides, et qu'on ne peut tout au plus s'en servir que dans le cas où le courant possède une force assez considérable. On ne saurait douter non plus qu'en général la polarité ne soit une grandeur variable, et d'un autre côté il ne paraît pas moins certain, d'après les expériences concordantes de MM. Wheatstone, Daniell et Lenz, que sa variabilité décroît avec la force croissante du courant, et enfin que, pour une certaine valeur de celui-ci, quand elle ne s'évanouit pas,

elle atteint un minimum. Il faut donc veiller, à l'égard de ce procédé, à ce que la force du courant, dans tous les changements qu'il accuse, ne tombe jamais au-dessous de cette valeur; et cette observation ne s'applique pas tant à la force totale du courant, qu'à la force en elle-même dans tous les points distincts de sa section.

Il sera donc préférable d'éviter autant que possible cette difficulté provenant de la variabilité dans la polarité, si on veut avoir une force constante du courant dans les mesures qu'on effectue.— Le procédé repose sur ceci, qu'on n'a qu'à comprendre dans le circuit du courant d'une batterie constante, en même temps que le liquide, une boussole des sinus qui mesure la force du courant, modifie la force du courant suivant un certain rapport, et, par un changement correspondant dans la longueur du fil, rétablit la force originelle du courant.

Ce procédé, qui, comme on le voit, suppose également que w est dans la dépendance de i, et qui n'est applicable que dans cette hypothèse, est susceptible de deux modifications. Par la première on change la résistance w du liquide, qu'on suppose avoir la forme d'un parallélipipède, en même temps qu'on augmente sa longueur de n fois. Alors on a, quand r et r' expriment les autres résistances de la pile :

$$i = \frac{k-p}{r+w} = \frac{k-p}{r'+nw};$$

d'où on tire

$$w = \frac{r-r'}{n-1},$$

où $r-r'$ est évidemment la différence des longueurs de fils qui existent dans la pile dans les deux cas, puisque la résistance des éléments constants reste la même dans les deux cas, et, par conséquent, disparaît[1].

[1] Ce procédé permet une détermination de la polarité avec le degré

Ce procédé a été appliqué de cette manière, avant Mr. Poggendorff, par Mr. Wheatstone. Ce physicien obtient ainsi une force du courant exactement de même grandeur dans les deux cas. On simplifie ainsi la méthode; mais cela n'est pas une condition indispensable, attendu que la polarité n'éprouve que de faibles changements pour de petites modifications dans la force du courant. Si le deuxième courant i n'est que très-peu différent du premier dans sa force, alors on a

$$w = \frac{ir - i'r'}{in - i}.$$

Mais, dans ce cas, on a besoin de connaître complétement r et r', et par conséquent de déterminer préalablement la résistance de la pile constante.

La seconde modification apportée au procédé consiste à produire un changement dans la résistance du liquide par un chan-

d'exactitude qu'on peut supposer dans l'égalité de polarité de deux lames égales de platine. D'abord on évalue la résistance du liquide dans la cellule à décomposition d'après la première forme du procédé, et pour la simplification du sujet on peut supposer qu'on a doublé la distance originelle entre les plaques, ou que n égale 2. Alors la résistance qui correspond à cette distance est très-simple :

$$w = r - r'$$

Alors on interpose dans le courant une deuxième cellule à décomposition derrière la première, aussi égale à l'autre qu'il est possible, et on change la longueur du fil de façon telle, que la force du courant revienne à sa valeur primitive. La résistance du liquide est établie comme précédemment; mais en même temps la force de la polarité se trouve également portée au double de sa valeur, et en conséquence on a, lorsque dans le dernier cas r exprime la résistance du fil y compris celle des constantes de la pile, l'équation suivante :

$$\frac{k - p}{r + w} = \frac{k - 2p}{r'' + 2w} \;;$$

d'où résulte pour p, après l'élimination de w, la valeur que voici :

$$p = k\,\frac{(r' - r'')}{2r - r''}.$$

gement, non plus dans la longueur de ce liquide, mais dans sa section ou dimension transverse. Comme la polarité ne dépend pas tant de la force totale du courant que de celle des différents points de la section de la route du courant, force qui est la seule qu'on ait appelée intensité, il est par conséquent nécessaire, dans ce cas, que cette intensité soit maintenue constante. Supposons que le liquide n'ait en largeur aucune extension superflue, de façon que cette intensité I puisse être considérée comme égale dans tous les points d'une section s, c'est-à-dire que $Is=i$, il est évident alors que l'intensité I demeurera constante, si la force totale et la section s éprouvent des changements dans le même rapport, ou bien, comme la résistance du liquide pour des longueurs égales est en raison inverse de la section, si la force du courant i accusée par les instruments de mensuration change dans le rapport inverse de la résistance du liquide. Il faut donc choisir r' de manière que

$$i=\frac{k-p}{r+w}=\frac{1}{n}\left(\frac{k-p}{r'+nw}\right);$$

d'où l'on déduit

$$w=\frac{r-nr'}{n^2-1}.$$

Cette modification dans le procédé est utile dans les cas où la nature des recherches ne permet pas une augmentation dans la longueur du liquide, et dont l'auteur présente plus loin un exemple.

Sous ces deux formes, le procédé n'est pas exempt de difficultés pratiques qui exigent, pour être surmontées, diverses précautions ; mais, malgré cela, on peut encore le considérer comme un des meilleurs qu'on connaisse.

L'auteur aurait pu s'arrêter là, mais il se présentait encore deux méthodes qu'il aurait désiré soumettre à des épreuves.

L'une de ces méthodes est une modification de celle dont Mr. Becquerel a fait usage pour la détermination du pouvoir ou

capacité de conductibilité. Elle repose, comme on sait, sur ce fait qu'on partage le courant d'une pile en deux branches, et que l'on conduit chacune de celles-ci en directions opposées, à travers les deux fils de ce qu'on appelle un galvanomètre différentiel. Si on a préalablement amené ces deux branches à l'égalité dans leur effet sur la double aiguille de l'instrument, et que dans l'une d'elles on interpose une résistance inconnue, alors la résistance connue qu'il faut ajouter à la deuxième branche (ainsi que l'a fait Mr. Becquerel), ou, plus exactement, celle qu'il faut enlever à la première en quelqu'un de ses points pour rétablir l'égalité d'action sur l'aiguille magnétique, est la mesure de la résistance qu'il s'agit de déterminer.

Cette méthode, qui se recommande pour les conducteurs solides, attendu qu'elle est complétement indépendante des oscillations dans la force du courant de la pile dont on se sert, puisque ces oscillations, quand elles surviennent, affectent également et au même degré les deux branches, présente encore cet avantage qu'elle ne nécessite qu'un courant de force médiocre et de peu de durée ; mais, lorsqu'il s'agit d'un liquide, il devient indispensable de lui faire subir une modification.

Il est clair, en effet, qu'on ne doit pas introduire un liquide dans une des branches seulement du circuit, car, en agissant ainsi, lorsque le courant circule, il s'établit, par l'entremise de la polarité des plaques, une force électromotrice dans la ramification, qui fausse le principe de la méthode. Toutefois, il est facile de démontrer que, lorsqu'on distribue à chaque branche une force électromotrice de même grandeur, ce principe trouve de nouveau son application. C'est ce qui résulte de la manière la plus évidente de l'examen des formules que l'auteur a données dans son mémoire sur la détermination de la force électromotrice des courants non constants pour un pareil système. Si on néglige la branche dans laquelle il n'y a aucune source d'électricité, les expressions données dans ce mémoire

pour les forces J', J'', J''', du courant non partagé et de ses deux branches, prennent la forme

$$J' = \frac{(k' - k'')\, r''' + (k' - k''')\, r'}{R}$$

$$J'' = \frac{(k'' - k')\, r''' + (k'' - k''')\, r'}{R}$$

$$J''' = \frac{(k''' - k')\, r'' + (k''' - k'')\, r'}{R}$$

dans lesquelles k' k'' k''', sont les trois forces électromotrices, r', r'', r''', les résistances correspondantes, et

$$R = r'r'' + r'r''' + r''r'''.$$

Si on suppose dans ces deux dernières expressions $h'' = k'''$, on revient à cette équation

$$J''r'' = J'''r''',$$

c'est-à-dire à la relation connue qui doit exister entre les forces des courants et les résistances des deux conducteurs solides que renferment les branches. C'est donc une nécessité rigoureuse, dans l'emploi du procédé de Mr. Becquerel pour les liquides, d'introduire dans chaque branche du système une cellule remplie d'un même liquide et des plaques égales.

Dans ses expériences pour appliquer cette méthode de la manière qui vient d'être indiquée, l'auteur a rencontré deux difficultés inattendues et considérables, dont l'une est basée sur la construction de l'instrument de Mr. Becquerel, et l'autre sur la nature du liquide.

Relativement à la première de ces difficultés, on ne peut l'observer dans toute son intensité que lorsque les branches du circuit consistent uniquement en fils. Dans ce cas on observe ce qui suit : tant que la compensation des effets des deux fils du galvanomètre sur l'aiguille n'est qu'imparfaite, on a naturellement une déviation très-prononcée, soit d'un côté, soit d'un autre. Supposons maintenant qu'il y ait une compensation por-

tée même jusqu'à la dernière perfection, on sera sans doute disposé à croire que toute action sur l'aiguille aimantée a entièrement cessé ; mais il n'en est rien : au lieu de nullité dans l'action, on a, au contraire, une *action double*. L'aiguille voyage sans distinction d'un côté comme d'un autre, si bien qu'il est impossible de distinguer laquelle des deux hélices de fil exerce la plus forte influence sur l'aiguille. Le phénomène ressemble à peu près à ce qu'on observe quand ce qu'on appelle un aimant à trois pôles, c'est-à-dire un barreau d'acier aimanté anomal, qui a deux pôles de même nom aux extrémités et un pôle de nom différent au milieu, est placé en travers sur une aiguille aimantée. Tant que l'aiguille plane à angle droit et symétriquement près de ce barreau, elle reste en repos ; mais aussitôt qu'on l'écarte tant soit peu de cette position, n'importe de quel côté, l'aimant l'attire aussitôt et la dévie encore davantage.

Ce phénomène, qui n'a pas, à ce que croit l'auteur, encore été décrit, et qui permet en même temps de douter qu'on ait pu jusqu'à ce jour obtenir des déterminations exactes de la capacité de conductibilité des métaux d'après la méthode de Mr. Becquerel, n'a rien de commun avec l'action, observée en 1838 par l'auteur, du courant oscillatoire de la machine de Saxton, quoiqu'il présente cette similitude apparente qu'il produit des déviations dans les deux sens.

Il n'a non plus aucun rapport avec l'action également double, mais très-faible, qu'on a observée dans tous les galvanomètres avec tours de fils partagés en plusieurs paquets, probablement par suite d'un léger magnétisme dans le fil de cuivre ; car, d'un côté, il est infiniment plus considérable, et, de l'autre, le fil enroulé de l'instrument de l'auteur ne possède aucune solution de continuité, et les aiguilles y sont soutenues par un seul et même étrier de platine.

Encore moins faut-il l'attribuer à l'aiguille double dont le galvanomètre différentiel est ordinairement pourvu, puisque

l'instrument dont l'auteur s'est servi ne possède qu'une aiguille simple qui, à l'aide d'un barreau aimanté extérieur, a été rendue astatique.

Enfin, ce n'est pas un phénomène appartenant exclusivement à la division du courant; car, quand on fait circuler un courant en même temps dans les deux paquets de fils de l'instrument, de manière que ceux-ci puissent exercer une action contraire sur l'aiguille aimantée, on observe absolument le même phénomène que lorsque le courant se partage entre les deux paquets de fils de l'instrument; c'est même là le moyen le plus facile de manifester le phénomène, attendu que le courant ayant dans les deux masses de fil une force égale, lorsque ces masses sont disposées symétriquement près de l'aiguille, elles doivent exercer sur elle la même action. En outre, ce phénomène se présente dans toute son intensité lorsqu'on couche un fil sur une planche, et par conséquent sur un plan, en le faisant revenir plusieurs fois sur lui-même, et qu'on le fait traverser par un courant.

Parmi un grand nombre de suppositions qui, après bien des essais, n'ont pas pu se soutenir, l'auteur a vu qu'il n'y avait guère d'autre explication possible du phénomène en question que de le considérer comme résultant de la position inégale des deux paquets de fil à l'égard de l'aiguille. Lorsque les paquets de fil de l'instrument sont enroulés régulièrement, les tours sont dans chacun disposés près de ceux de l'autre, et, par suite de leur grande proximité de l'aiguille, il est nécessaire qu'avec une même force de courant dans tous deux on voie constamment dominer, dans son action sur l'aiguille, celui vers lequel l'aiguille dévie.

Ce qui semble appuyer cette explication, c'est la circonstance que le phénomène est d'autant moins marqué qu'on prend les fils du galvanomètre plus fins, c'est-à-dire qu'on approche davantage l'un de l'autre les centres des actions contraires, et, de plus, que ce phénomène disparaît lorsqu'on a tordu ensemble ces fils.

De cette manière, lorsque l'auteur a construit les tours avec des fils tordus ensemble de 0,3 millimètre de diamètre, et qu'il a remplacé par ceux-ci les premiers, qui consistaient en fils de 0,6 millimètre disposés parallèlement, il a réussi à amener le phénomène à son minimum, ce qui n'est nullement nuisible à l'emploi des instruments quand on a le soin, toutes les fois qu'on ferme le circuit et avant cette opération, de mettre l'aiguille sur le zéro ou parallèle à la direction des fils. Un fil encore plus fin et tordu plus serré ne présenterait probablement plus le phénomène en question; mais des fils de la qualité indiquée suffisent parfaitement bien pour la plupart des opérations pratiquées et fournissent des résultats très-sûrs dans la détermination de la résistance chez les conducteurs solides, à la condition toutefois qu'on observe les précautions préalables indiquées ci-dessus, et, en outre, qu'on ne cherche pas la compensation comme l'a fait Mr. Becquerel dans l'autre branche, mais bien, comme dans le principe de la double pesée de Borda, dans la même branche dans laquelle on a introduit la résistance.

Tout récemment, Mr. Wheatstone, convaincu également de l'insuffisance de l'instrument de Mr. Becquerel, auquel toutefois il ne paraît pas avoir reconnu la propriété qui vient d'être exposée, a recommandé un autre galvanomètre qui paraît à Mr. Poggendorff, sous tous les rapports, mériter des éloges. La construction de cet instrument repose sur ce fait déjà connu, mais dont on n'a fait jusqu'à présent aucune application, savoir, que quand les deux branches d'un courant sont réunies par un troisième comme par un pont, il s'établit dans ce troisième fil un courant dont la direction et la force dépendent de la position du point où il touche les deux autres fils. Pour faire l'application de ce fait, Mr. Wheatstone a fait connaître deux dispositions particulières, qui s'accordent toutefois en ce point qu'avec les fils développés on forme un rhombe où deux angles opposés, *a* et *c*, sont unis à une pile galvanique, tandis que

les autres, *b* et *d*, le sont à un galvanomètre. Ce dernier, qui forme le pont entre les deux branches *abc* et *adc* du courant, n'a besoin que d'être constitué d'un seul fil, mais peut, pourvu qu'il soit délicat, présenter telle construction qu'on désire. Si, comme on le suppose bien, les côtés du rhombe ont même longueur ou plutôt présentent même résistance, l'aiguille du galvanomètre, quand le courant circule de *a* à *c*, ou réciproquement dans le système, reste parfaitement en repos.

Pour mesurer une résistance, Mr. Wheatstone l'introduit dans un des côtés du rhombe. L'aiguille éprouve aussitôt une déviation. Si alors on introduit une deuxième résistance dans un des côtés adjacents, elle peut ramener l'aiguille sur le zéro; et si cela a lieu, la seconde résistance est égale à la première, qui est connue et qui lui sert, par conséquent, de mesure.

Mr. Poggendorff a mis ce procédé à l'épreuve et ne peut que lui donner des éloges. Il n'a pas trouvé qu'il fût nécessaire de construire l'appareil avec une disposition particulière de fils. Le même mesureur de résistance qu'il a employé dans le procédé de la boussole des sinus et dans la méthode de Mr. Becquerel lui a servi dans celle de Mr. Wheatstone; seulement il exige une autre combinaison ou liaison des fils.

Le rhombe de fils n'a pas non plus besoin de présenter exactement des côtés de la même longueur. L'action sur le galvanomètre est nulle, non-seulement lorsque les extrémités de ses fils ont même longueur ou partagent également en deux parties égales ou branches la résistance du courant, mais toujours encore lorsqu'elles retranchent des portions de ces branches qui présentent entre elles un même rapport avec la longueur ou la résistance totale, au moyen de quoi la longueur ou plus généralement la résistance des branches peut être elle-même très-inégale. Il est facile, du reste, d'établir par voie expérimentale le rapport entre les portions de branches; mais une chose importante toutefois, c'est que la compensation de la résistance dans une seule et même portion d'une branche soit

parfaitement établie. Mr. Wheatstone ne s'en est pas occupé, parce que les portions de ses branches (c'est-à-dire les côtés de son rhombe de fils) sont supposés présenter une longueur ou résistance égale ; mais cette égalité est néanmoins difficile à obtenir à la rigueur.

Le procédé de Mr. Wheatstone paraît irréprochable, parce que par son moyen toute déviation suivant un sens double cesse entièrement, et par conséquent qu'il devient très-propre à la détermination de la résistance chez les corps solides. Mr. Poggendorf n'a pas pu encore constater d'une manière certaine sa supériorité, sous le point de vue de la délicatesse, sur le procédé de Mr. Becquerel, à cause des difficultés que présente la théorie de la combinaison des fils de ce dernier ; mais il paraît évident que toutes les fois qu'on n'aura qu'une faible résistance à introduire dans le circuit, le procédé Wheatstone méritera la préférence, tandis que lorsqu'une plus grande résistance sera sans inconvénient, et par conséquent dans les cas où on pourra se servir de l'instrument de Mr. Becquerel avec fils fins entrelacés, ce dernier fournira des résultats aussi étendus et aussi certains, comme l'auteur s'en est assuré, que le procédé Wheatstone, qui d'ailleurs ne peut remplacer l'autre dans tous les cas.

Quant à ce qui concerne les difficultés que le procédé de Mr. Becquerel (et probablement aussi celui de Mr. Wheatstone) présente dans son application à la mesure de la résistance des liquides, elles proviennent principalement de la grande variabilité dans la polarité. C'est un fait certain qu'introduire dans les deux branches d'un courant développé deux forces électromotrices égales, c'est la même chose que si on n'en introduisait pas, et qu'alors les forces du courant dans les deux branches sont en rapport inverse des résistances ; mais il est aussi indispensable que les forces soient en réalité égales entre elles, et c'est là une circonstance qui, par suite de la variabilité excessive de la polarité, est extraordinairement difficile, sinon impossible

à remplir. Presque jamais on ne rencontre deux liquides, fussent-ils même en apparence semblables dans toutes leurs parties, qui, par le passage d'un courant électrique, prennent en réalité absolument la même polarité; et s'il existe la moindre inégalité entre les paires de plaques des deux cellules, le courant y sera inégal, et cela parce que la polarité, qui est une fonction de la force du courant, augmente encore l'inégalité qui existe déjà. Il n'aurait donc pas fallu songer à écarter les difficultés qui résultent de l'emploi du procédé de compensation pour la mesure de la résistance chez les liquides, au moins autant que semblent l'indiquer les expériences de l'auteur, et lui-même n'en aurait fait aucune mention si d'un autre côté les phénomènes en apparence bizarres auxquels ce procédé donne naissance n'étaient d'un très-haut intérêt sous le point de vue théorique et ne fournissaient un nouvel exemple de la dépendance de la force du courant sous laquelle se trouve placée la polarité. D'après ce motif, l'auteur se croit autorisé à revenir par la suite sur ce sujet.

Le dernier procédé sur lequel Mr. Poggendorff a cru devoir entrer dans quelques développements, bien qu'il n'ait pas de même que les autres atteint le but, n'en est pas moins digne d'un grand intérêt, par ce motif que son inapplication résulte, contrairement à l'opinion généralement admise, de ce que les conducteurs liquides ne suivent pas toutes les lois qu'on connaît relativement aux conducteurs solides.

Lorsque deux conducteurs métalliques, disposés l'un à côté de l'autre, sont parcourus par un courant électrique, et que l'un présente la résistance a, et l'autre celle b, on sait que la résistance complète de ces deux conducteurs est

$$\frac{ab}{a+b}$$

Si les liquides participaient à cette propriété des métaux, on aurait là un moyen admirable pour déterminer leur capacité de

conductibilité ou la résistance, et entièrement indépendant de l'intervention de la polarité ; mais malheureusement il n'en est point ainsi.

Si on insère un fil droit de métal dans l'axe d'un tube vertical de verre fermé par un bout et qu'on détermine sa résistance lorsque le tube est rempli d'un liquide bon conducteur, puis qu'on cherche ensuite la résistance du fil seul, on la trouve alors exactement aussi considérable qu'auparavant. On ne rencontre, dans ce cas, aucune trace d'un passage ou destination latérale du courant du métal dans le liquide, ainsi que cela a lieu entre deux métaux et même entre deux conducteurs liquides.

L'auteur a répété à plusieurs reprises cette expérience, avec des moyens extrêmement précis et dans des circonstances où, lorsque les liquides conduisaient suivant la même loi que les métaux, elle aurait dû nécessairement fournir un résultat positif; mais le liquide s'est montré constamment sans action aucune. Du reste, on jugera du résultat de ces essais si on rapporte ici les détails de l'un d'entre eux.

Dans cette expérience, ce qu'il s'agit de mesurer c'est la différence

$$a - \frac{ab}{a+b} \qquad \text{ou} \qquad \frac{aa}{a+b}$$

Cette différence est d'autant plus forte que a est plus grand et b plus petit. Par conséquent, pour rendre l'expérience plus décisive, il faut prendre la résistance du fil aussi grande et celle du liquide aussi petite qu'il est possible.

L'auteur a pris un fil de platine d'une dimension telle que 18,5 lignes de ce fil étaient égaux sous le rapport de la résistance à 19,75 pouces de son fil mesurateur en argentan, résistance qu'il a mesurée à l'aide du procédé de compensation Wheatstone.

Ensuite il a pris de l'acide sulfurique étendu, contenant 10 pour 100 d'acide concentré. Un parallélipipède de 2,5

pouces carrés de section et 1 pouce de longueur a fourni, dans la direction de la longueur, une résistance égale à celle de 6 pouces du fil mensurateur. Ce résultat a été obtenu à l'aide de la méthode décrite plus haut.

La portion du fil de platine insérée dans le cylindre de verre avait 80,5 lignes de longueur; sa résistance par conséquent était égale, en nombre rond, à 86 pouces du fil mensurateur.— Le cylindre de verre avait 3 $^1/_2$ pouces de diamètre et était rempli d'acide étendu sur toute sa hauteur de 86,5 lignes. Par suite de la mesure rapportée ci-dessus, la colonne liquide, si elle avait été parcourue suivant toute sa longueur par un courant, aurait dû présenter une résistance égale à celle de 10 pouces du fil mensurateur.

On avait donc $a = 86$ et $b = 10$; par conséquent la différence s'élevait à $\frac{aa}{a+b} = 77$ pouces du mensurateur.

Si on considère maintenant que dans le procédé de compensation on peut constater encore aisément, à l'aide du galvanomètre, un changement de $^1/_8$ de ligne dans la longueur du fil de l'une des branches du courant, c'est-à-dire de moins de $^1/_{7000}$ de la grandeur de celui-ci, on sera certainement autorisé à conclure que, dans les circonstances mentionnées, il n'y a aucune diffusion du courant du métal dans le liquide.

Mr. Poggendorff a confirmé encore cette conclusion par une autre expérience. Il a fait passer un fil droit de platine dans un vase horizontal rempli d'acide, et a plongé tout près de ce fil et à angle droit avec lui, sans toutefois le toucher, deux lames de platine en communication avec un galvanomètre très-sensible. Alors il a fait passer un courant à travers le fil plongé dans le liquide. Si le liquide avait été conducteur du courant suivant la loi que suivent les métaux, on s'en serait aperçu à l'aide du galvanomètre; mais l'aiguille de cet instrument est restée parfaitement immobile, et elle n'a pas bougé davantage lorsque l'une des lames a été mise en contact avec le fil, et n'a

fourni des indications sensibles d'un passage du courant à travers le liquide que lorsqu'on a amené les deux lames au contact avec le fil.

Le résultat présenté par les deux expériences qui viennent d'être rapportées, se lient de la manière la plus intime avec la question de savoir jusqu'à quel point, dans les liquides, la capacité de conductibilité dépend de la facilité de décomposition. Plusieurs physiciens, dans ces derniers temps, et en particulier Mr. Faraday, ont avancé que la capacité de conductibilité des liquides n'est qu'apparente, et qu'ils ne conduisent que parce qu'ils se décomposent et que la décomposition est la condition de la conductibilité. Pour appuyer cette opinion, ces physiciens ont cité la manière dont se composent des substances de nature différente, par exemple l'eau et l'alcool, dont la première présente les phénomènes de la décomposition et de la conductibilité, tandis qu'il n'en est pas de même de la seconde.

Le résultat précédent confirme cette opinion et en fournit la preuve pour une seule et même substance, substance à laquelle on ne peut refuser ni la faculté de décomposition, ni la capacité (du moins apparente) de conductibilité. Il prouve qu'une substance peut posséder une grande faculté de décomposition, mais être néanmoins sans pouvoir conducteur ou ne pas permettre à un courant de la traverser aussitôt, comme dans les expériences citées, que les circonstances sont de nature telle qu'il ne peut exister de décomposition. Par conséquent les liquides décomposables se distinguent par ce caractère des métaux, quoique, lorsqu'on les décompose, ils suivent, relativement aux éléments qu'on a nommés résistance, absolument les mêmes lois que celles qui ont été reconnues dans ces derniers corps.

SUR L'EMPLOI DE LA TERRE COMME CONDUCTEUR PAR LE TÉLÉGRAPHE ÉLECTRIQUE. Lettre de Mr. Ch. MATTEUCCI à Mr. Arago. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, du 12 mai 1845.)[1]

J'espère que vous lirez avec quelque intérêt les nouvelles expériences que je viens de tenter encore une fois, sur l'emploi de la terre comme conducteur télégraphique. Peut-être cette lettre vous arrivera-t-elle au moment où vous exécutez vos grandes expériences à Paris, et assez à propos pour faire sur une large échelle ce que je suis forcé de faire en petit. Les expériences de Mr. Magrini m'ont paru si extraordinaires, et conduire à des résultats si nouveaux pour la science, que j'ai commencé par répéter ces expériences, en employant, pour l'isolement du fil, tout le soin possible. J'ai de nouveau tiré mon fil de cuivre, n° 8, du commerce, sur une des grandes routes du parc du Grand-Duc, près de Pise. Les pieux de bois sec avec lesquels je soutiens le fil ont été entièrement couverts de dix couches de vernis à l'essence de térébenthine, et laissés pendant plusieurs jours au soleil. Ces pieux sont fixés dans le sol, à la distance de 8 à 10 mètres les uns des autres ; il faut avoir soin de ne pas laisser ces pieux étendus par terre avant de les

[1] Nous reproduisons d'autant plus volontiers cette note de Mr. Matteucci, qu'elle nous paraît donner une explication parfaitement satisfaisante et naturelle des anomalies singulières que Mr. Magrini avait observées dans la notice que nous avons insérée (*Archives de l'Electricité*, t. IV, p. 610). Les conclusions que Mr. Magrini en avait tirées sur l'électricité propre de la terre, ne doivent plus être admises ; ces anomalies ne sont qu'un effet fort simple des phénomènes les plus ordinaires de l'électricité voltaïque. (R.)

fixer. La longueur de fil que j'ai tendu était de 1740 mètres. Chaque pieu étant haut de 1^{m},50, le fil est élevé au-dessus du sol au moins de 1 mètre. Il faut parcourir toute la ligne avant de commencer l'expérience, pour bien s'assurer que le fil n'est touché en aucun point par des corps plus ou moins conducteurs qui communiquent avec la terre. Pour m'assurer de l'isolement, j'ai fait une première expérience en interrompant le fil près d'une de ses extrémités, et en introduisant un galvanomètre et une pile de quatre éléments de Bunsen, chargée avec de l'eau légèrement acidulée. Par excès de précaution, le galvanomètre et la pile posent sur une lame de verre couverte de vernis. Le galvanomètre employé était à fil long et avec un système astatique parfait. C'est un galvanomètre de Mr. Rumkorf que j'emploie dans mes expériences d'électricité animale. L'aiguille est restée parfaitement à zéro. En opérant à l'air, il faut mettre le galvanomètre à l'abri du vent, et, pour essayer l'isolement du fil, afin de ne pas donner des secousses au galvanomètre, il est bon de tenir le galvanomètre réuni au fil, et d'introduire ou d'enlever la pile, en faisant plonger dans le liquide, et en l'en retirant, le dernier zinc soutenu par un manche isolant. Du reste, quand on a tenté quelques expériences de ce genre, on s'habitue bientôt à toutes les précautions nécessaires, de quelque manière qu'on veuille les varier.

L'isolement était donc parfait dans mon fil. En le faisant toucher par des mains bien essuyées en deux points différents, entre lesquels se trouvent le galvanomètre et la pile, aussitôt l'aiguille était poussée vers 90 degrés. Dans une de mes expériences, on avait, par mégarde, jeté les pieux sur la terre, qui était encore un peu humide par la rosée, avant de les planter et de tendre le fil. Il ne me fut plus possible d'avoir l'isolement. Après m'être assuré de l'isolement de mon fil de la manière décrite, j'ai ôté la pile en laissant le galvanomètre. A une des extrémités du fil, j'ai lié une plaque de zinc, que j'ai descendue dans l'eau d'un fossé, jusqu'à la plonger entièrement, en la

soutenant avec une corde. Je répète que, par excès de précaution, tout était isolé, c'est-à-dire que la portion du fil qui descendait dans l'eau ne touchait pas le sol avant d'arriver à l'eau, et que la plaque de zinc était soutenue par une ficelle isolante. On avait ainsi une plaque de zinc dans l'eau, réunie à un fil de cuivre long de 1740 mètres, et parfaitement isolé du sol. Le galvanomètre faisait partie du fil conducteur, et se trouvait placé à l'extrémité qui terminait avec la lame. Il y a des précautions à observer pour que l'expérience puisse être exacte. Ainsi, si le fil qui communique avec la plaque est déjà réuni au galvanomètre, et si, en prenant l'autre bout du fil avec la main, on vient à toucher l'autre extrémité du galvanomètre, on a un courant qui dure pendant tout le temps que l'on tient ce bout de fil à la main. De cette manière, le circuit est complété avec l'eau, la terre, le corps de l'observateur, le fil de cuivre, le galvanomètre et la plaque de zinc. Le courant cesse aussitôt qu'on cesse de toucher le fil avec la main. Pour ne pas obtenir ce courant, il faut commencer par réunir le bout du long fil en cuivre isolé avec une des extrémités du galvanomètre, puis réunir avec l'autre extrémité le fil qui va à la plaque. De même, on n'obtient aucune trace de courant en opérant de la première manière, en tenant le bout du long fil avec un manche isolant. Au lieu de la plaque de zinc, j'en ai mis une de fer, puis une de cuivre, puis une d'étain, puis une d'argent : jamais il n'y a eu aucune trace sensible de courant. Il est donc bien prouvé qu'un fil de cuivre parfaitement isolé du sol, long de 1740 mètres, et terminé, à une extrémité, dans l'air, et à l'autre, avec une lame métallique quelconque plongée dans l'eau d'un puits ou d'un fossé, n'est jamais parcouru par un courant, sensible au galvanomètre très-délicat que j'ai décrit.

J'ignore les modifications qui peuvent être apportées à cette conclusion, en employant un fil long de plusieurs kilomètres ; mais il me semble que l'on peut les prévoir. Dans la disposition précédente, on obtient tout de suite le courant, pourvu qu'un

corps quelconque en communication avec le sol touche le fil; seulement on voit l'intensité du courant varier avec la conductibilité du corps que touche le fil. Je rapporterai ici un résultat qui me semble assez important pour guider l'expérimentateur. J'ai déjà cité le cas des pieux qui avaient été jetés sur le sol encore couvert de rosée; en employant ces pieux, on avait des signes de courant avec la disposition que j'ai décrite, c'est-à-dire avec la lame métallique plongée dans l'eau. Dans une autre expérience, l'isolement était parfait au commencement; puis, la pluie étant venue, l'isolement n'était plus parfait, comme on devait s'y attendre, et alors les signes du courant ont commencé et ont persisté. Voyons maintenant la direction du courant. Lorsque c'est une plaque de zinc, ou de fer, ou d'étain, qui plonge dans l'eau, le courant est dirigé de manière à entrer dans le galvanomètre du long fil, c'est-à-dire qu'il va comme il doit aller, du zinc à l'eau, à la terre, au fil par les pieux mouillés, comme il entre dans le fil par le corps de l'observateur, quand on fait l'expérience avec le fil isolé. En employant une lame d'argent plongée dans l'eau, le courant a la direction contraire, c'est-à-dire qu'il entre dans le galvanomètre par le fil qui est réuni à la lame d'argent. Il est clair que, dans ce cas, c'est le fil de cuivre qui est attaqué par l'eau qui mouille les pieux, et qui va de là au sol, à l'eau, à la lame d'argent. On peut faire très-bien cette expérience, lorsque le fil est parfaitement isolé. Qu'on ait une lame d'argent ou de platine plongée dans l'eau, et qu'on touche le fil avec les mains mouillées d'eau pure, ou légèrement salée, alors le courant sera dirigé, comme précédemment, du fil de cuivre à l'observateur, au sol, à l'eau, à la lame d'argent. Tous ces résultats sont parfaitement simples, faciles à prévoir du reste, et d'accord avec nos connaissances. Enfin, voici ce qu'on obtient quand c'est une plaque de cuivre qui plonge dans l'eau : soit avec les pieux mouillés, soit en touchant le fil avec la main, les signes du courant sont très-faibles; mais on peut dire que la direction du courant est tou-

jours comme si le fil, au lieu de la plaque, était attaqué par le liquide. Si on opère avec le fil parfaitement isolé, et qu'on le touche avec la main mouillée d'eau légèrement acidulée, le courant est fort et dirigé du fil à la main, ainsi que cela doit être. Pour s'expliquer le cas des pieux mouillés, il faut donc admettre qu'il y a plus de surface de cuivre en contact avec le liquide dans la somme des points du fil qui touche les pieux, qu'il n'y en a dans la lame qui plonge dans l'eau ; ce qui est bien possible dans mon cas, car je n'avais pour toutes mes lames qu'un demi-mètre carré de surface.

Venons maintenant à une autre expérience très-simple, et qui semble aussi très-importante pour la télégraphie électrique. Mon fil, long de 1740 mètres, parfaitement isolé, est terminé par deux lames en fer-blanc plongées dans l'eau de deux fossés, qui sont à la distance à peu près de la longueur du fil ; les deux fossés ne communiquent pas directement ensemble. J'avais dans le circuit la pile de quatre couples de Bunsen, et le galvanomètre comparable de Nobili. Dans une première expérience, la pile et le galvanomètre étaient à côté l'un de l'autre, à une des extrémités du fil ; dans une seconde expérience, la pile est restée en place, et le galvanomètre a été porté à l'autre extrémité. L'aiguille s'est fixée à 27 degrés exactement dans les deux cas, ce qui prouve le parfait isolement du fil ; alors j'ai fait enlever tous les pieux, et le fil a été étendu dans toute sa longueur sur la terre couverte de gazon. L'aiguille du galvanomètre s'est fixée également à 27 degrés comme précédemment, soit que le galvanomètre fût à côté de la pile, soit qu'il fût à l'autre extrémité. On voit donc que l'isolement a été parfaitement inutile dans cette expérience, et que le courant a été transmis de la même manière par le circuit mixte, soit que le fil en cuivre fût isolé, soit qu'il ne le fût pas. Il ne faut pas croire pour cela que la chose fût la même avec des circuits plus longs, comme je l'ai déjà trouvé dans mes premières expériences, et dans des localités dans lesquelles le terrain serait moins humide.

Peut-être suffirait-il pour certaines longueurs, ne voulant pas isoler le fil, de l'employer d'un diamètre plus grand. Ce qui est certain, et ce qui résulte de mes premières expériences, de celles qui ont été faites à Milan, de la plus grande, faite dernièrement en Angleterre à la distance de 88 milles avec plusieurs milles en terre, et de la dernière expérience que je viens de rapporter, c'est que la résistance d'un circuit mixte, fil et terre, est moindre que celle du circuit de la même longueur tout en fil de cuivre. Cela n'empêche pas qu'en faisant une suite d'expériences dans lesquelles on introduit des longueurs très-grandes et variables de terre, il est possible qu'on parvienne à trouver la résistance de la terre, ce que je n'ai pas trouvé en opérant sur des longueurs qui n'ont jamais dépassé 2000 mètres. Mr. Magrini, en opérant sur des longueurs de plusieurs kilomètres, a trouvé cette résistance, et il donne pour l'équivalent de 1 kilomètre de terre, 273 mètres de son fil de cuivre; mais il serait à désirer que ces expériences fussent répétées, et que les conclusions fussent déduites de différences plus grandes dans les déviations de l'aiguille du galvanomètre. En effet, je trouve décrites dans le mémoire, en italien, de Mr. Magrini, les expériences suivantes. Son circuit était composé de 4 kilomètres de fil et de 1 kilomètre de terre, puis de 2, de 3 et, enfin, de 4 kilomètres de terre. Les déviations moyennes qu'il rapporte dans ce Mémoire sont les suivantes: $22\,{}^{5}/_{8}$, $21\,{}^{11}/_{16}$, 21, 20. Je ne sache pas qu'en lisant le galvanomètre on puisse répondre d'une fraction de degré, lorsque l'aiguille, même sur le cadran ordinaire, a un diamètre plus grand que l'intervalle de 1 degré. Je persiste donc, jusqu'à ce que de nouvelles expériences m'aient fait changer d'opinion, à regarder la résistance de la terre pour le courant électrique comme nulle ou presque nulle, excepté celle qu'on rencontre au premier passage ou changement de conducteur, qui est constante, quelle que soit la distance entre les deux puits. Le résultat singulier auquel j'étais parvenu l'an passé, c'est-à-dire que dans un circuit mixte,

fil et terre, dans lequel il y a au moins 2000 mètres de terre, la résistance serait moindre que celle qui est due au seul fil de cuivre, a été vérifié de nouveau dans la même localité ; je l'ai trouvé et je le trouve si singulier, que j'invoque encore de nouvelles expériences à ce sujet. Il est bien possible que l'effet soit dû à un faible courant qui persiste toujours, développé par les deux lames extrêmes, et qui circule avec celui de la pile.

Venons enfin aux essais que j'ai tentés pour établir un télégraphe électrique entre deux points séparés entre eux par la mer, comme serait par exemple le cas de Douvres à Calais. Il est impossible d'imaginer seulement de tendre en l'air un fil de cuivre à cette distance. Je crois la chose possible, quoique immensément difficile, si on laisse aller le fil dans l'eau. J'ai fait, à travers l'Arno, une expérience, à la vérité comparativement très-petite, mais cependant du même genre. Je choisis deux puits aux deux bords de l'Arno ; une lame métallique plonge dans l'eau de chaque puits et est réunie à un fil de cuivre qui arrive isolé du sol jusqu'au point où il plonge dans l'eau. Je me tiens sur un des bords avec un galvanomètre introduit dans le fil, et j'ai un faible courant développé entre la lame et le fil qui plonge dans la rivière ; je fais introduire la pile de quatre éléments de Bunsen dans le fil du bord opposé, et à l'instant l'aiguille est poussée à 90 degrés. Il est donc évident qu'au moins une partie du courant circule dans le fil de cuivre plongé dans la rivière et revient par le sol interposé entre les deux puits.— Dans une autre expérience, une pile de Faraday de quinze éléments est plongée au milieu de la rivière, et ses deux pôles extrêmes sont réunis avec deux fils aux lames qui plongent dans les deux puits. Lorsque la pile ne plonge pas dans la rivière, le galvanomètre indique un faible courant dont nous connaissons l'origine.

Quand la pile est plongée, l'aiguille va à 90 degrés, et toujours le circuit se complète par la terre comprise entre les deux puits.

Si l'on voulait étendre ces résultats au cas de Douvres à Calais, des difficultés énormes se présenteraient; mais les deux grandes nations que la Manche sépare savent bien en vaincre d'autres. Je dois ajouter aussi que mes expériences sont faites dans des conditions très-défavorables, et je mettrai en première ligne la communication directe entre l'eau de mes puits et celle de la rivière.

Enfin, je veux vous communiquer encore un projet qui présente moins de difficultés que le précédent, mais qui a, du moins en apparence, beaucoup moins de chances de succès que le premier. Imaginez deux arcs métalliques isolés du sol, et les extrémités de chacun de ces arcs terminées par de grandes plaques métalliques. Les deux plaques les plus rapprochées de ces deux arcs plongent dans le même liquide, qui peut être l'eau d'un bassin, une rivière ou la mer; les deux autres plaques plongent dans l'eau de deux puits ou sont couchées sur le sol; enfin, l'un des arcs est interrompu par la pile, l'autre par un galvanomètre qui en font partie. J'ai fait l'expérience dans un bassin de 3 mètres de diamètre, et l'expérience a réussi; c'est-à-dire qu'en fermant le circuit de la pile, l'aiguille est allée à 90 degrés, et le circuit se faisait évidemment à travers l'eau du bassin, d'une part, et le sol, de l'autre. Evidemment, pour que cela réussisse, il faut imaginer qu'entre les deux lames du même arc, interrompu par la pile, la résistance soit plus grande que celle de toute la couche de la terre qui sépare les deux puits. C'était bien le cas de mon bassin, qui n'était pas profond, et qui était bâti en briques. L'expérience a manqué quand, au lieu du bassin, j'ai interposé le fleuve de l'Arno. Conclurons-nous, d'après cela, qu'il serait impossible que cela réussît à travers la mer? je n'oserais pas l'assurer d'une manière absolue. Imaginez donc deux puits à une assez grande distance des bords de la mer, séparés même de ses bords par une chaîne de montagnes, si cela est possible; faites ces puits très-profonds, entourez-les jusqu'en bas par des briques presque isolantes, ayez

égard à la bonne conductibilité de l'eau de la mer, et, si je ne me fais pas une énorme illusion en ce moment, il me semble permis de conserver quelque espoir.

Ce n'est qu'à raison de la grandeur du résultat que l'on obtiendrait que j'ai la confiance d'être excusé, par vous et par le monde savant, d'avoir rendu public un projet qui a bien les apparences d'un rêve, mais que je désire de tout mon cœur voir se réaliser.

OBSERVATIONS SUR LA DÉCOMPOSITION DES SELS MÉTALLIQUES PAR UN COURANT ÉLECTRIQUE, par Mr. James NAPIER. *Lues à la Société chimique de Londres*, le 6 janvier 1845. (Extrait de *l'Institut* du 4 juin 1845.)

Les phénomènes qui font le sujet de ce mémoire ont été d'abord observés pendant une application de l'électro-métallurgie sur une grande échelle; et comme ils ont paru en contradiction avec plusieurs des lois établies des décompositions électro-chimiques, l'auteur les a répétées sur une plus petite échelle, tant pour vérifier les résultats de la pratique, que pour s'assurer s'ils se bornaient aux électrolytes employés qui sont des doubles cyanures d'or, d'argent et de cuivre avec le potassium. Quelques-unes de ces expériences vont être données ici avec détail.

On a formulé comme une loi fondamentale de la décomposition électrique, qu'il ne peut y avoir inégalité de force dans aucun point d'un courant voltaïque, et que les décompositions sous la dépendance de ce courant se font toujours en proportions définies, de façon que la quantité d'un élément quelconque ou de radical salin mis en liberté à un électrode est l'équi-

valent d'un autre élément ou radical mis en liberté à l'électrode opposé; mais les résultats de l'expérience dans le dépôt des métaux avec les sels indiqués ci-dessus, ont déterminé l'électro-métallurgiste à suivre une autre loi un peu différente de celle qu'ont posée les électro-chimistes, et qui lui a permis de renforcer ou d'affaiblir à volonté sa solution métallique. En effet, il n'y a pas de loi qui lui paraisse mieux définie que celle-ci, savoir : que si on se sert d'un fort électrode positif et d'un petit électrode négatif, le premier dissoudra en plus grande quantité qu'il n'y aura de dépôt sur le second, et réciproquement, si on se sert d'un fort électrode négatif et d'un petit électrode positif, il y aura un dépôt plus considérable sur l'électrode négatif qu'il n'y a de dissolution au positif.

« Sachant avec quelle assurance les électro-chimistes ont formulé la loi de la décomposition des électrolytes suivant des proportions définies, j'eus, dit Mr. Napier, quelques doutes sur les résultats de l'expérience pratique, et, pour les lever et pour m'assurer si le désaccord était ou non fortuit, j'ai adopté la méthode suivante. L'électrode positif a été pesé soigneusement chaque matin avant de le plonger dans la solution à dorer, puis de nouveau lorsqu'on l'a retiré le soir de cette solution, et on a comparé la perte avec le métal déposé dont on a soigneusement tenu compte. Ce moyen a été pratiqué pendant plus de 9 mois, en faisant varier de temps à autre, autant qu'il était possible, les dimensions relatives des deux électrodes et l'état des solutions; pendant cette période, il n'y a eu que cinq expériences dans lesquelles la perte de l'électrode positif a été exactement la même que le gain de l'électrode négatif. Dans beaucoup de cas la différence n'a pas excédé 3 p. 100; mais la différence moyenne a été de 25 p. 100, et s'est élevée parfois jusqu'à 50, en variant à un très-haut degré avec l'état de la solution et les dimensions relatives des électrodes.

« Pendant le cours de ces opérations il a surgi deux questions d'une certaine importance, savoir : 1° ce désaccord de

l'électrolysation équivalente se borne-t-il aux cyanides doubles des métaux ? 2° La quantité d'électricité, telle qu'elle est indiquée par l'oxidation du zinc dans la batterie, correspond-elle avec la quantité de métal déposé sur l'électrode négatif, ou avec la quantité dissoute à l'électrode positif?

« J'avais observé, en faisant quelques expériences sur l'endosmose relative chez diverses substances, que si on se sert de sulfate de cuivre dans un compartiment d'une cellule à décomposition dans laquelle est placé l'électrode négatif, l'autre compartiment étant chargé avec de l'eau aiguisée avec de l'acide chlorhydrique, et un électrode positif de cuivre immergé, il se dissout dans la cellule positive un équivalent de cuivre pour celui qui est déposé sur le pôle négatif; mais qu'il se forme en même temps une grande quantité de poudre ressemblant à un sous-chloride de cuivre, légèrement soluble dans l'eau, qui adhère au pôle avec une grande ténacité, parfois, si le courant dure plusieurs heures, jusqu'à la profondeur de $^1/_{16}$ de pouce, au moyen de quoi le pôle positif perd, suivant la force de l'acide et la puissance de la batterie, de 1 $^1/_2$ à 3 fois la quantité de celui qui est déposé sur l'électrode négatif.

« La substance formée et recueillie au pôle n'a point encore été analysée, mais ses propriétés générales diffèrent de celles du chloride et du sous-chloride de cuivre ; elle est blanche quand elle est formée récemment, mais elle devient verte par le lavage et l'exposition à l'air, puis légèrement déliquescente. Elle donne une couleur bleue immédiate avec l'ammoniaque, se dissout dans l'acide nitrique avec effervescence, ainsi que dans l'acide chlorhydrique, et n'est pas précipitée quand on étend la liqueur d'eau, mais convertie en chloride. 25 grains donnent 6,3 grains de chlore, et 11,8 de cuivre. C'est probablement un oxychloride.

« Pour comparer ces résultats avec l'expérience pratique dont il a été question ci-dessus, j'ai entrepris une série de pe-

tites expériences dans lesquelles on a eu principalement égard à la seconde question posée précédemment. Voici quelques-unes de ces expériences.

« 400 grains de cyanide de potassium ont été dissous dans 12 onces d'eau distillée, divisés en parties égales, et placés dans deux divisions de l'appareil à décomposition, en séparant par un diaphragme poreux. Des électrodes d'argent d'égales dimensions ont été plongés dans chacune de ces parties et mis en rapport avec une batterie de 9 paires de plaques zinc et cuivre. La division négative était établie de manière telle que le gaz dégagé de l'électrode était reçu dans une éprouvette graduée. Le courant a été maintenu jusqu'à ce qu'on ait obtenu 25 pouces cubes de gaz, alors les deux électrodes ont été pesés; le négatif n'avait éprouvé aucun changement, le positif avait perdu 62 grains, ce qui est 8 grains de plus que l'équivalent d'hydrogène dégagé.

« La même expérience ayant été répétée avec 600 grains de cyanide de potassium pour 12 onces d'eau, l'électrode positif a perdu dans ce cas 70 gr. ou 16,5 gr. de plus que l'équivalent de gaz dégagé.

« Une troisième expérience, dans laquelle il y avait 800 grains de cyanide de potassium, a donné à l'électrode positif une perte de 85 gr. ou de 31 gr. de plus que l'équivalent de gaz dégagé. La perte ou la destruction du zinc dans la batterie pour ces trois expériences, s'est élevée à 506 gr., ce qui est plus d'un équivalent de zinc pour le gaz dégagé au pôle négatif, mais ce n'est pas un équivalent pour l'argent dissous au pôle positif.

« Pour s'opposer à ce qu'une absorption de gaz dans la cellule négative produisît un résultat erroné, on a chargé la division négative avec une solution de sulfate de cuivre dans laquelle on a plongé un électrode de cuivre, la quantité de métal déposé étant prise pour mesure de l'électrolysation dans cette cellule. La division positive a été chargée avec une solu-

tion de cyanide de potassium dans laquelle on a placé un électrode en argent, le tout étant attaché à un seul couple zinc et cuivre, excité par une solution de sel ammoniac. Dans les trois expériences suivantes le courant a été continué une heure seulement pour chacune.

	I.	II.	III.
Cuivre déposé sur l'électrode négatif	5,0 gr.	6,2 gr.	5,5 gr.
Argent dissous à l'électrode positif	37,0	39,3	40,7
Zinc dissous dans la batterie	5,8	6,5	6,3

« Dans ces expériences on a près de 2 équivalents dissous au pôle positif de plus que ceux qui sont déposés au pôle négatif.

« Dans une autre expérience avec les mêmes électrolytes, mais avec des électrodes positif et négatif de cuivre pur, le courant ayant été soutenu pendant 16 heures,

L'électrode négatif a gagné	22 grains.
L'électrode positif a perdu	75
Le zinc dissous dans la batterie a été	25

« Ici on a plus de trois équivalents dissous au pôle positif pour un déposé au pôle négatif. Dans toutes ces expériences le cyanide de potassium a été dans la proportion de 40 grains pour une once d'eau.

« Dans les trois expériences qui suivent on a employé de l'acide chlorhydrique dans la division positive au lieu de cyanide de potassium, la division négative contenant une solution de sulfate de cuivre; la batterie consistait en un simple couple excité par une solution de sel commun.

« I. Acide chlorhydrique dans la proportion de 1 once pour 12 d'eau, le courant soutenu pendant 18 heures.

Déposé sur l'électrode négatif	15 grains.
Dissous à l'électrode positif	22
Zinc dissous dans la batterie	18

« II. Acide chlorhydrique 2 pour 12 d'eau, courant passant pendant 24 heures.

Déposé à l'électrode négatif	40 grains.
Déposé à l'électrode positif	62
Zinc dissous dans la batterie	48

« III. Acide chlorhydrique 3 sur 12 d'eau, courant passant pendant 24 heures.

Déposé à l'électrode négatif	47 grains.
Dissous à l'électrode positif	87
Zinc dissous dans la batterie	50

« Des expériences semblables ont été faites avec la division positive chargée avec une solution de chloride de sodium, chloride de potassium, chloride d'ammonium et divers autres chlorides, et dans tous il y a eu plus de dissous à l'électrode positif que de déposé à l'électrode négatif. Avec l'acide sulfurique étendu, le sulfate de cuivre, et tous les sulfates solubles, dans la division positive, la quantité déposée a été exactement équivalente à la quantité dissoute à l'électrode positif, excepté lorsque le courant a été soutenu pendant plusieurs jours, cas où l'électrode positif s'est légèrement recouvert d'une substance gélatineuse noire, qu'on suppose être de l'oxide de cuivre formé par un transport imparfait de l'acide sulfurique qui le laisse sans être dissous ; mais, dans ce cas, on a constamment trouvé un équivalent de cuivre tenu en solution pour un déposé avec formation de cette matière noire, qu'il ne faut pas confondre avec celle que donnent toujours le cuivre ou les sels de ce métal impurs, et qui en général provient du fer qui se trouve dans l'électrode.

« Quand on s'est servi des nitrates dans la division positive, les résultats ont été les mêmes qu'avec les sulfates, et en prolongeant longtemps le courant il s'est formé un peu d'une matière brunâtre sur l'électrode positif, et par conséquent il y a

eu plus de dissous à l'électrode positif que de déposé à l'électrode négatif.

« Quand on s'est servi d'une partie d'acide nitrique pour 12 d'eau, il y a eu environ un quart plus de dissous à l'électrode positif que de dissous à l'électrode négatif, quoiqu'un morceau de cuivre plongé dans un acide de même force et pendant le même espace de temps où la batterie a été en action n'ait point été sensiblement attaqué.

« Pendant ces expériences on a eu l'occasion d'observer d'autres phénomènes dont on rendra compte plus tard ; il suffira pour le moment de présenter quelques remarques générales sur les résultats qui viennent d'être indiqués.

« En premier lieu on peut établir d'une manière générale que lorsqu'on emploie comme électrolytes les doubles cyanides, la quantité de métal mise en liberté au cathode et celle qui est dissoute à l'anode, ne sont pas en proportions équivalentes, mais varient suivant leurs dimensions relatives et la condition de la solution. Quand les solutions sont neutres, il y a tendance à ce que le dépôt sur le cathode soit plus considérable que la dissolution sur l'anode, même quand elles sont de dimensions égales, et, quand il y a un excès de cyanide de potassium, sa tendance à une solution plus considérable à l'électrode positif est plus grande que celle du dépôt à l'électrode négatif.

« D'après ces expériences et d'autres encore avec le cyanide de potassium, l'acide chlorhydrique et les chlorides, il est évident qu'avec ces électrolytes, lorsqu'on se sert d'électrodes qui se combinent avec les éléments mis en liberté, la quantité ainsi libérée ou combinée avec un électrode n'est pas la mesure de celle qui est mise en liberté ou combinée à l'électrode positif ; mais ajoutons que l'expérience démontre que l'élément mis en liberté à l'électrode négatif est la mesure exacte de la quantité d'électricité qui traverse l'électrolyte, si cet électrolyte est composé de 1 équivalent de base et 1 équivalent d'acide ou d'équivalents isolés d'éléments ; mais si un sous-sel compose l'électro-

lyte, il y aura deux proportions mises en liberté à l'électrode négatif pour une proportion de zinc détruite dans la batterie, et si on se sert d'un sel tribasique, il y aura 3 équivalents déposés, etc., tous les électrolytes étant décomposés comme s'ils étaient constitués avec deux éléments.

« En second lieu, on peut faire remarquer d'après ces résultats que plus la solution de cyanide de potassium a de force, plus est grande la quantité dissoute à l'électrode positif, ce qui peut provenir de ce que les métaux employés comme électrodes sont très-solubles dans ce menstrue, et que la différence entre les électrodes est simplement le résultat de cette solubilité. Au moins c'est ce que démontre l'expérience ci-après, qui fait voir en outre que l'électricité influence cette solubilité. Des pièces d'or, d'argent et de cuivre, présentant les mêmes dimensions que l'électrode positif, ont été immergées dans des solutions de cyanide de potassium, de même force que celles employées dans les expériences avec la cellule, et maintenues pendant le même temps. Pendant que l'électrode positif en or a perdu 59 grains au delà de l'équivalent de ce qui a été déposé à l'électrode négatif, la plaque d'or dans la solution du cyanide de potassium n'a perdu que $^1/_2$ grain, et a exigé huit semaines pour dissoudre 59 grains. Lorsque l'électrode positif d'argent a perdu 50 grains au delà d'un équivalent de la quantité déposée sur l'électrode négatif, la plaque plongée dans la solution de cyanide de potassium a perdu 3 grains, et a requis 29 jours pour en dissoudre 96 grains. Lorsque l'électrode positif cuivre a perdu 32 grains de plus que la quantité déposée sur l'électrode négatif, la plaque de cuivre dans la solution de cyanide de potassium a perdu 2 grains, et a exigé 12 jours pour dissoudre 32 grains. Le cuivre s'est incomparablement dissous plus promptement.

« La même tendance dans l'électrode positif à la dissolution se manifeste avec l'acide chlorhydrique, et augmente avec la force de cet acide. Elle est aussi évidente dans tous les chlori-

des ; bien plus, tous les électrolytes essayés ont indiqué cette tendance jusqu'à un certain degré, les métaux employés comme électrolytes étant purs. Nous ne sommes pas en mesure de décider si cet accroissement de tendance dans les métaux à se dissoudre quand on s'en sert comme électrode positif, provient de l'exaltation d'une affinité entre le métal et l'élément négatif de l'électrolyte, quoique les faits semblent l'indiquer ; mais, s'il en était ainsi, ce fait serait en faveur de l'opinion qui veut que l'action chimique soit le résultat de l'électricité, plutôt que l'électricité le résultat de l'action chimique. Dans tous les cas, il y a un grand nombre de phénomènes dans la pratique de l'électro-métallurgie, qui paraissent favorables à cette opinion, et qui feront l'objet d'une prochaine communication [1]. »

[1] Nous ne sommes point disposés à admettre que les faits observés par Mr. Napier présentent une exception à la loi de l'action chimique définie et constante du courant électrique. Il existe, dans le mode de procéder du chimiste anglais, plusieurs causes d'erreur qui doivent empêcher la loi de se vérifier dans toute son exactitude. D'abord il est bien probable que le seul fait d'une action chimique qui a lieu par l'effet de la décomposition électro-chimique du cyanide, sur le métal qui forme l'électrode positif, rend la surface de ce métal plus facilement attaquable par la solution dans laquelle il plonge, indépendamment de toute autre cause. Ensuite l'auteur ne tient nullement compte de la potasse qui doit se rendre à l'électrode négatif, et il n'apprécie l'effet électrolytique du courant que par le gaz ou le métal dégagé à cet électrode ; ce qui explique pourquoi il n'y trouve pas un équivalent de l'effet chimique qui est produit à l'électrode positif. Des observations du même genre peuvent s'appliquer aux phénomènes décrits par Mr. Pouillet, dans la notice que nous reproduisons ci-après ; des effets secondaires dont l'auteur n'a pas tenu compte, troublent la manifestation de la loi ordinaire des décompositions électro-chimiques, mais ne nous semblent pas la détruire. C'est ce que nous chercherons à faire voir dans une note que nous insérerons à la suite du mémoire du physicien français. (A. DE LA RIVE.)

NOTE SUR L'ÉLECTRO-CHIMIE, par Mr. POUILLET. (*Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, du 26 mai 1845.)

J'ai entrepris depuis longtemps une série de recherches sur la production de l'électricité voltaïque et sur les lois de l'électrochimie : ce travail touche à son terme ; cependant les expériences auxquelles il m'a conduit sont si nombreuses, et les questions que j'y traite ont été, pour la plupart, l'objet de tant de controverses, qu'il me faudra encore du temps pour y mettre la dernière main. En attendant qu'il me soit possible de le présenter à l'Académie, j'ai pensé qu'il pourrait être utile d'appeler dès à présent l'attention des physiciens sur un fait général qui, je crois, n'avait pas été observé et qui tient une place importante dans cette discussion.

On a proposé des hypothèses diverses pour expliquer le passage du courant électrique au travers des corps composés, et pour rendre compte des décompositions chimiques qui en résultent ; dans toutes ces hypothèses on admet, ou explicitement ou implicitement, *que les électricités contraires des deux pôles de la pile exercent des actions égales et opposées*, qu'elles constituent en quelque sorte deux forces de même intensité chimique, agissant chacune dans son sens aux deux extrémités de la chaîne formée par le liquide qui est soumis à la décomposition.

Ainsi, dans la décomposition de l'eau, on admet que, s'il se dégage par exemple 2 équivalents d'oxigène au pôle positif, et 2 équivalents d'hydrogène au pôle négatif, chacun des pôles concourt également à cette séparation et avec la même activité; c'est-à-dire que des deux équivalents d'oxigène, il y en a un qui résulte de l'initiative du pôle positif, qui a pris cet équivalent et

qui a fait parvenir au pôle négatif l'équivalent correspondant d'hydrogène par une série de décompositions successives ou autrement, et que l'autre équivalent d'oxigène résulte, au contraire, de l'initiative du pôle négatif qui, lui, a pris 1 équivalent d'hydrogène, et qui a, en quelque sorte, envoyé, d'une façon ou de l'autre, l'équivalent correspondant d'oxigène au pôle positif.

Il en est de même des chlorures, iodures ou bromures métalliques dissous dans l'eau et soumis à l'action de la pile, sans que l'eau soit elle-même décomposée par le courant; seulement le chlore, l'iode ou le brome prennent la place de l'oxigène, et le métal celle de l'hydrogène.

Il en est encore de même des alcalis, des acides et des sels alcalins ou métalliques; ici, à la vérité, on n'est pas d'accord sur le mode de décomposition, les uns admettant que le métal se dépose de lui-même par une action directe, les autres admettant qu'il se dépose par une action secondaire, son oxide étant réduit par l'hydrogène; mes expériences confirment pleinement la première opinion, même pour les sels alcalins; mais je n'entre pas pour l'instant dans cet examen; mon but est seulement de rappeler que, si l'on discute sur le mode de décomposition de ces corps, l'on ne discute pas sur *la puissance relative des pôles*; on admet qu'ils agissent toujours comme deux forces conspirantes, égales et opposées.

Avant d'admettre ce principe, qui est comme le point de départ et la base fondamentale de toute théorie électrochimique, il m'a semblé nécessaire d'en constater la rigueur par des expériences directes. Ces recherches me semblaient d'autant plus indispensables, que le principe dont il s'agit se lie d'une manière intime avec les conditions d'équilibre des forces électriques dans les groupes moléculaires des corps composés.

On comprend, en effet, combien il importe de savoir si les corps élémentaires, qui ne se combinent jamais sans dégager des électricités contraires, constituent, après leur combinaison, des

corps absolument neutres, ou des corps dont la neutralité ne soit qu'apparente et soumise à certaines conditions.

J'ai donc cherché à instituer des expériences décisives sur ce point. Il y avait à cela des difficultés de plus d'une sorte; car il fallait étudier séparément les changements chimiques survenus dans le liquide autour de chacun des pôles de la pile, et il fallait cependant que le liquide fût continu, pour qu'il n'éprouvât pas des actions multiples et complexes. Après quelques essais, j'ai dû renoncer à l'emploi des diaphragmes perméables, soit de terre cuite, soit de matière organique, soit d'argile ou d'amiante, parce que le passage du courant produit une élévation de température considérable dans les petits filets liquides qui se ramifient dans les pores de ces diaphragmes, et aussi parce qu'il se développe des phénomènes d'endosmose qui altèrent les résultats, et dont je n'ai pu tenir un compte satisfaisant, même après en avoir déterminé les principales conditions et les lois. J'ai dû renoncer aussi à séparer les liquides de chaque pôle, par une colonne d'un autre liquide conducteur, non pas à cause du phénomène du transport, qui ne s'accomplit aucunement comme on le suppose, mais parce qu'en général il se produit alors des pôles multiples, c'est-à-dire des pôles contraires, de part et d'autre de la surface de séparation des deux liquides, et qu'il en résulte des actions chimiques diverses.

L'appareil auquel je donne la préférence se compose simplement de deux tubes de verre d'environ 12 centimètres de hauteur, sur 8 ou 10 millimètres de diamètre, disposés verticalement et réunis à leur partie inférieure par un tube courbe, soudé à chacun d'eux, d'environ 2 millimètres de diamètre. Ces tubes sont destinés à contenir chacun 4 ou 5 centimètres cubes de liquide dans chaque branche, et ils sont jaugés avec soin, afin d'observer le changement total de volume que le liquide peut éprouver pendant l'opération.

Le courant de la pile passe par un voltamètre où l'on recueille les gaz, et les deux pôles, qui sont en général des fils ou

des lames de platine, plongent chacun dans l'une des branches de l'appareil. Il est, en général, nécessaire d'exposer à la même action plusieurs tubes semblables ; alors ils sont mis en communication par des fils métalliques qui vont de la branche positive de l'un à la branche négative de l'autre.

Le nombre des éléments que l'on peut employer se limite en général par l'élévation de température qui se produit dans le coude qui réunit les deux branches de chaque tube ; il importe, dans tous les cas, que cette élévation de température ne puisse pas mélanger les liquides des deux branches. Il m'est arrivé souvent d'employer cinquante éléments de Bunsen sans aucun inconvénient de cette nature.

Je ne rapporterai ici, pour le moment, que les expériences que j'ai faites sur les chlorures métalliques, parce qu'elles me semblent parfaitement suffisantes pour mettre en évidence le fait principal que je me propose d'établir dans cette Note.

On a soumis à l'expérience trois tubes contenant une dissolution concentrée de chlorure d'or ; des épreuves préalables avaient fait connaître que, dans 4 centimètres cubes de cette dissolution, il y avait $0^{gr},348$ d'or métallique.

Après avoir obtenu 15 centimètres cubes d'oxigène au voltamètre, on a enlevé le premier tube, on a décanté de suite et séparément le liquide de la branche positive et celui de la branche négative, pour en faire l'analyse au moyen de l'évaporation et de la réduction complète du chlorure. Le liquide de la branche positive avait conservé toute la quantité d'or qu'il avait primitivement, et celui de la branche négative avait perdu en or $0^{gr},180$, c'est-à-dire presque exactement ce qui correspond à 15 centimètres cubes d'oxigène, à raison de $^2/_3$ d'équivalent d'or pour 1 équivalent d'oxigène.

Après avoir obtenu au voltamètre encore 10 centimètres cubes d'oxigène, on a enlevé le deuxième tube pour analyser aussi le liquide correspondant à chaque pôle ; la branche positive avait encore conservé son état primitif, ou à très-peu

près ; toute la décomposition du chlorure s'était accomplie dans la branche négative, et l'analyse a, en effet, montré que la perte d'or qu'elle avait subie correspondait, en poids, au volume d'oxigène dégagé dans le voltamètre.

L'action de la pile avait continué sur le troisième tube, mais elle s'était fort ralentie, la densité du liquide de la branche négative était devenue bien moindre que celle de la branche positive ; elle était presque complétement décolorée, et l'hydrogène s'était montré avec assez d'abondance au pôle négatif, en même temps que de faibles portions d'or s'y déposaient encore ; mais mon but n'est pas d'entrer ici dans l'examen de ces faits subséquents.

Cette expérience a été répétée plusieurs fois, avec des dissolutions plus ou moins concentrées, et des courants plus ou moins énergiques, et elle a toujours reproduit les mêmes phénomènes et les mêmes périodes, sauf la quantité absolue d'or qui peut être déposée avant que l'hydrogène apparaisse au pôle négatif.

Il semble en résulter que, dans la décomposition du chlorure d'or, le pôle positif reste sans action décomposante, que toute la puissance chimique est réservée au pôle négatif qui prend l'or et envoie le chlore se dégager au pôle positif, par une série de décompositions et de recompositions successives.

Si le pôle positif avait une action chimique précisément égale à celle du pôle négatif, il ferait autre chose que de recevoir passivement du chlore, il en dégagerait à son tour par son action propre et ferait passer sur le fil négatif la quantité d'or correspondante. Celui-ci recevrait en somme le même poids de métal, mais ce métal aurait deux origines différentes : une moitié se serait déposée directement dans la branche négative, et l'autre proviendrait indirectement de la branche positive ; en sorte que les deux branches se dépouilleraient également, et, à une époque quelconque de l'expérience, elles resteraient également denses, également colorées, et également riches en or et en chlorure.

Cependant il ne faut pas trop se hâter de généraliser ; il faut auparavant examiner avec soin les phénomènes que présentent les autres composés chimiques.

On a soumis à l'expérience tous les autres chlorures métalliques solubles, en suivant exactement le même procédé ; seulement, pour analyser les liquides contenus dans chaque branche à diverses périodes de l'opération, il a fallu employer des méthodes différentes, les uns se dosant par le chlorure sec, les autres par l'oxide qu'ils donnent, et d'autres enfin par la quantité de chlorure d'argent qu'ils produisent.

Dans toute cette série de corps composés, le pôle négatif n'a pas une action chimique à peu près exclusive, comme dans le chlorure d'or; mais il a toujours une action très-prédominante, de telle sorte que la branche négative finit par se dépouiller presque complétement de son chlorure, tandis que la branche positive en conserve encore des proportions considérables. Au commencement de l'action, quand le liquide est identique dans les deux branches, la quantité de chlorure décomposée dans la branche négative est au moins les deux tiers de celle qui se trouve décomposée dans la branche positive, comme il arrive pour les chlorures de manganèse, de fer et de cobalt; pour d'autres chlorures, cette proportion s'élève aux trois quarts, et dépasse même quelquefois les quatre cinquièmes. Je n'ai déterminé ce rapport très-exactement que pour certains chlorures, parce qu'il m'a paru dépendre du degré relatif de concentration du liquide dans les deux branches de l'appareil, et aussi parce que, vers la fin de l'opération, quand la branche négative est à un certain degré dépouillée de son chlorure, les phénomènes se compliquent par la décomposition de l'eau, ou par la formation des pôles multiples, ou par des dépôts d'oxide ou d'hydrate.

Dans toutes ces expériences, il importe que le fil qui plonge dans la branche négative en occupe à peu près toute la hauteur; si, par exemple, elle n'en occupe que la moitié, on aper-

çoit bientôt une séparation tranchée qui se fait dans le liquide un peu au-dessous de l'extrémité du fil ; tout le liquide supérieur devient moins dense, et le liquide inférieur beaucoup plus dense ; alors le pôle négatif n'est plus en contact avec un liquide dont le degré de concentration soit uniforme.

Il importe aussi que le métal qui se dépose sur le fil négatif ne vienne pas à se détacher, car il tombe alors au fond du tube, et il donne naissance à un double pôle, qui agit alors principalement pour dépouiller la branche positive du métal qu'elle contient ; ces parcelles agissent exactement comme ferait un fil métallique placé dans le tube coudé, et formant, pour sa part, un pôle positif à l'une de ses extrémités, et un pôle négatif à l'autre.

Parmi les chlorures solubles, il s'en trouve sur lesquels les expériences de cette nature sont très-difficiles : tel est, par exemple, le chlorure de cadmium. Une dissolution de ce corps, même quand elle est fort concentrée, donne au pôle négatif un dépôt métallique qui végète en fibres déliées, et qui s'étale avec une incroyable rapidité d'un pôle à l'autre, en passant par le petit tube de communication. Il suffit quelquefois de trois ou quatre secondes pour que ces filaments métalliques de cadmium, à peine perceptibles tant ils sont déliés, s'allongent de plusieurs centimètres et viennent toucher au fil positif.

Je me borne à ajouter ici que j'ai fait sur beaucoup d'autres composés inorganiques ou organiques des expériences analogues à celles que je viens d'indiquer sur les chlorures métalliques, et que, dans tous ces composés divers, j'ai constaté en général l'*inégale puissance des pôles* pour déterminer la séparation chimique des éléments.

Qu'il me soit permis d'indiquer maintenant une conséquence qui me semble résulter de ce fait général.

On peut en déduire que les éléments qui sont séparés par l'action de la pile n'ont pas la même facilité à se mouvoir dans le liquide où s'opère la décomposition ; que, par exemple, le

chlore se meut plus facilement que l'or, et que c'est pour cela que le pôle positif reste sans action ; car l'or qu'il aurait séparé de son équivalent de chlore ne pourrait cheminer ou vibrer que très-péniblement pour gagner le pôle négatif, où il doit à la fois se déposer et neutraliser l'électricité dont il est chargé. Si cette explication était admise, il y aurait à examiner comment cette aptitude à se mouvoir plus ou moins librement se trouve liée au volume ou à la masse de l'équivalent chimique de l'élément.

Mais je suis plus porté à considérer ces faits sous un tout autre point de vue, qui me semble plus conforme aux lois générales de la science.

Puisque les corps dégagent de l'électricité au moment où ils se combinent, on peut regarder comme certain que les éléments constitutifs d'un corps composé sont dans des états électriques contraires ; toute la question est de savoir si ces deux électricités différentes sont complétement ou incomplétement neutralisées l'une par l'autre. Dans le premier cas, le composé étant, par exemple, le chlorure de fer dissous dans l'eau, tout corps chargé d'électricité qui touche la dissolution, et qui agit par conséquent à une distance insensible sur l'équivalent de chlorure, exerce son action par deux forces qui composent un couple, c'est-à-dire qu'il attire indifféremment l'équivalent de chlore ou l'équivalent de fer.

Dans le second cas, si les fluides électriques du chlore et du fer ne sont pas complétement neutralisés pour la distance dont il s'agit, le corps électrisé qui plonge dans la dissolution exerce une action prédominante sur l'un des éléments ; il choisit celui qui possède une électricité contraire à la sienne, pour l'attirer, tandis qu'il repousse l'autre élément, etc. La résultante de cette action est plus grande ou plus petite, suivant que le corps est lui-même chargé d'électricité positive ou négative. Or, c'est là précisément le phénomène que présentent les deux pôles de la pile chargés d'électricités contraires ; ils exercent des actions

inégales. Il semble donc permis de conclure que, dans les corps composés, la neutralisation des fluides électriques contraires est incomplète.

Si cette déduction est rigoureuse, il s'en présente une autre qui ne l'est pas moins ; c'est qu'en plongeant dans une dissolution un corps conducteur non électrisé, les molécules qui le touchent, et qui agiraient sur lui par des actions inégales s'il était chargé de l'un ou l'autre fluide, agissent nécessairement sur lui, même quand il est à l'état naturel, et le constituent à l'état positif ou à l'état négatif, suivant la nature de la force électrique qui prédomine dans l'équivalent du corps composé ; de là, par conséquent, l'origine de l'électricité qui semble se produire au contact de certains corps, et qui se trouve ainsi dépendre à la fois et du contact et de l'action chimique elle-même, sans être le produit exclusif de l'une ou de l'autre de ces actions considérée isolément [1].

[1] Nous ne saurions admettre les conclusions de Mr. Pouillet, qui nous paraissent être tout au moins prématurées. D'abord il ne nous est point prouvé que le phénomène observé par le savant physicien français, ne soit pas un effet secondaire dû à l'action, sur le chlorure d'or qui est autour de l'électrode négatif, de l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau dans laquelle le chlorure est dissous. C'est un point qui mériterait d'être examiné de plus près. Ensuite, en supposant même que la portion de la solution électrolytique qui enveloppe l'électrode négatif soit la seule qui éprouve la décomposition, ou du moins celle qui l'éprouve au plus haut degré, nous ne saurions voir dans ce fait rien de contraire aux idées actuellement reçues sur les phénomènes dont il s'agit, telles que Mr. Faraday en particulier les a développées et éclaircies.

D'ailleurs faire intervenir, dans l'explication des décompositions électro-chimiques, les notions de répulsion et d'attraction des électricités semblables et de noms contraires, nous paraît tellement peu en rapport avec ce qui se passe dans cet ordre de phénomènes, que nous ne saurions admettre aucune conséquence qui découle d'un semblable principe.

Au reste, pour juger sainement les idées de Mr. Pouillet, il faut attendre l'ensemble du travail dont il n'a communiqué à l'Académie qu'un simple fragment. En tous cas on ne peut que se féliciter de voir l'attention d'un physicien aussi distingué, dirigée sur un sujet qui a encore tellement besoin d'être exploré. (A. DE LA RIVE.)

DE LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DE QUELQUES SUBSTANCES, par P. Riess. (*Poggend. Annal.*, t. LXIV, p. 49.)

La conductibilité électrique d'une substance est inverse du temps que cette substance met, sous une forme et une grandeur déterminées, à enlever son électricité à un corps électrisé donné. Mais une circonstance à remarquer, c'est que lorsque l'espace de temps est assez long pour pouvoir être mesuré exactement, il subit de telles variations par l'effet de modifications légères, souvent impossibles à contrôler, qui surviennent dans la surface de la substance soumise à l'expérience, qu'on trouve peu d'avantage à opérer cette mesure. Dans d'autres cas, au contraire, où la nature de la surface n'exerce aucune influence, l'intervalle de temps est si excessivement court, que jusqu'à présent on ne l'a pas mesuré directement. Pour l'ordinaire on apprécie le temps que la substance en expérience met à transmettre l'électricité, d'après les effets qu'elle produit pendant la durée de ce phénomène, et l'on regarde ce temps comme directement proportionnel à la propriété qu'on appelle résistance à la conductibilité, avec laquelle, au contraire, la conductibilité est en relation inverse. La ressemblance de ces deux expressions a fréquemment eu pour conséquence qu'on a passé tacitement de l'une à l'autre; souvent ainsi l'on parle sans autre explication de la conductibilité, tout en s'occupant d'expériences sur la résistance à la conductibilité. On détermine cette résistance comme on le fait pour tout autre effet électrique et avec la plus grande précision; mais pour ce qui concerne le temps, la conclusion est purement hypothétique. Quant à la détermination de la con-

ductibilité, elle donne directement le temps, mais elle ne peut s'exécuter que d'une manière imparfaitement approximative.

Les instruments et les méthodes employés dans ces deux déterminations doivent être, cela va sans dire, totalement différents. Aussi ai-je depuis longtemps jugé avantageux de renoncer à l'expression, d'ailleurs complétement illogique, de résistance à la conductibilité, et de la remplacer par celle de *force de ralentissement*[1] dont j'ai ailleurs motivé l'emploi. En faisant usage de cette expression, l'on évitera tout au moins la confusion entre des expériences qui n'ont absolument rien de commun entre elles.

Le titre de ce mémoire indique donc qu'il s'agit ici de mesures de temps directes, d'une exactitude médiocre. Une substance qui enlève instantanément l'électricité à un électroscope chargé, nous l'appellerons un conducteur; celle qui n'enlève l'électricité que dans l'espace de quelques secondes, nous l'appellerons conducteur imparfait; celle, enfin, qui au bout d'une minute n'a pas modifié la divergence d'une manière sensible à l'œil, nous l'appellerons un non-conducteur.

Sélénium.

Berzélius a trouvé que le sélénium ne conduit pas l'électricité, et pourtant que, lorsqu'il est soumis à un frottement, il ne présente aucune trace sensible d'électricité. Bonsdorff a réussi à le rendre électrique par frottement à l'air sec.

Voici les expériences que j'ai faites avec des cylindres de sélénium, de 3 lignes d'épaisseur et de 6 à 13 lignes de longueur, que j'avais reçus de Mr. Magnus. Lorsque j'ai mis le plus long de ces cylindres en contact avec le conducteur d'une forte machine électrique, j'ai trouvé, conformément au résultat obtenu par Berzélius, qu'on pouvait tirer des étincelles en un point quelconque de ce conducteur, et que souvent ces

[1] *Poggend. Annal.*, t. XLV, p. 1.

étincelles venaient éclater sur la main par-dessus la surface du cylindre. Mis en contact avec un électroscope à feuilles d'or chargé, le sélénium lui a enlevé presque instantanément son électricité. Un cylindre de sélénium tenu par des pinces garnies de liége sec, et frotté en un point avec de la flanelle, s'est chargé d'électricité négative sur toute sa surface, de façon que, si le frottement avait lieu à l'une des extrémités, l'électricité se manifestait au même instant à l'autre qui en était éloignée de 13 lignes. La surface du sélénium avait en partie une couleur brun foncé métallique, et présentait l'apparence d'un gris de plomb métallique sur les surfaces de cassure. Lorsque la surface était renouvelée en un point au moyen de la fusion, elle ne conduisait pas l'électricité aussi rapidement que dans son premier état, et un fil de sélénium tiré à la flamme s'est trouvé être un aussi bon isolant qu'un fil de gomme laque. Réduit même à une longueur de demi-ligne, et mis en contact avec l'électroscope, il n'a point déterminé de changement dans la divergence. Aussi a-t-il suffi du frottement pour rendre électrique un fil de ce genre, qui avait quelques pouces de longueur. En le frottant avec de la flanelle, du cuir ou de la toile de lin, ou bien en le passant seulement entre les doigts secs, on lui a fait prendre une électricité négative si forte qu'il a chassé la feuille d'or d'un électroscope de Behren contre la paroi de la cloche. Au bout de plusieurs jours, le fil de sélénium possédait encore cette propriété, quoiqu'il eût été tenu légèrement recouvert.

Le sélénium appartient donc aux corps non-conducteurs ; le frottement le rend aisément électrique, pourvu toutefois que sa surface soit bien propre.

Iode.

Cette substance, étudiée sous la forme d'une poussière cristalline grossière, a été trouvée être un parfait conducteur. J'ai reçu de Mr. Mitscherlich quatre cylindres d'iode, de 6 $^1/_4$ li-

gnes de diamètre, et de diverses longueurs jusqu'à celle de 20 $^1/_2$ lignes; leur surface était cristalline, de couleur gris d'acier; dans quelques cavités on voyait des cristaux distincts. Ces cylindres déchargeaient en une seconde l'électroscope, quelle que fût la place où le contact eût lieu : dans quelques expériences avec des faces cristallines distinctes et dans d'autres avec des faces où la cassure était fraîche, on n'a pas pu, sans les isoler, les rendre électriques par le frottement; isolés et frottés avec de la flanelle, ils n'ont pris qu'une faible électricité négative.

L'iode est donc un conducteur imparfait de l'électricité.

Les expériences antérieures, qui établissent que l'iode n'est pas un conducteur électrique, se rapportent au courant galvanique; je me suis convaincu qu'elles sont exactes. Un cylindre d'iode, entouré d'un fil de cuivre à ses deux extrémités et placé dans le circuit d'un élément voltaïque simple, a empêché la décomposition de l'iodure de potassium sur du papier joseph, décomposition qui s'opérait avec une grande facilité lorsque le circuit entier était formé par du cuivre. Cette expérience n'est point en contradiction avec celle qui a été faite avec l'électroscope, puisque les conducteurs imparfaits, peuvent, aussi bien que les non-conducteurs, interrompre un courant galvanique.

Rétinasphalte.

Ce minéral présente fréquemment une apparence semblable à celle de l'ambre. Breithaupt[1] prétend que ce n'est que lorsqu'il est isolé que le frottement le rend électrique. Selon Hausmann et Henrici, c'est un bon conducteur électrique[2], tandis que l'ambre, comme on sait, appartient aux isolants les plus parfaits. J'ai soumis à l'expérience six morceaux de rétinas-

[1] *Manuel de Minéralogie* (en allemand), t. IV, p. 174.

[2] Expériences sur la conductibilité électrique des minéraux; lu dans la neuvième réunion de la Société des mines de Gœttingue.

phalte, qui m'avaient été remis par Mr. G. Rose ; quatre étaient de Schraplau dans le territoire de Mansfeld, un de Kamensk dans l'Oural (ces deux espèces jaune clair et translucides), le sixième enfin de Wulchow en Moravie (celui-ci brun de foie, compacte, avec une surface inégale). Les cinq premiers morceaux avaient une surface nette, brillante comme le verre, et on les a trouvés sur tous les points des non-conducteurs parfaits. Bien que quelques-uns n'eussent que quelques lignes de diamètre, ils n'ont pas diminué la divergence d'un électroscope chargé dont on les tenait rapprochés avec la main, et ils ont pris une forte électricité négative quand on les a frottés avec de la flanelle. Le morceau couleur de foie était conducteur sur la plupart des points de sa surface fendillée, mais il en a été de même d'un morceau d'ambre dont la surface était rude au toucher ; une place polie, d'apparence conchoïde, de ce même asphalte n'a pas conduit l'électricité, et a été électrisé par l'effet du frottement.

Le rétinasphalte est donc un non-conducteur, et par conséquent il prend l'électricité sans avoir besoin d'être isolé.

Aluminium et beryllium.

J'ai reçu ces métaux, à l'état de poudre, de Mr. H. Rose, et je les ai mis dans des tubes de verre de 4 lignes de diamètre intérieur, recouverts de gomme-laque en dedans et en dehors, et fermés à une de leurs extrémités par une garniture de cuivre. Une aiguille d'acier, dont la pointe était enfoncée dans la poudre de métal, a été remuée avec la main, pendant que l'on tenait la garniture de cuivre du tube en contact avec le bouton d'un électroscope à feuille d'or chargé. L'un et l'autre métal ont aussitôt enlevé l'électricité de l'instrument.

Cependant, quand on opère avec des poudres qui paraissent conduire l'électricité, il faut de la prudence avant de porter un jugement définitif, parce que, dans bien des cas, elles

ne doivent cette propriété qu'à la présence d'eau condensée. En conséquence j'ai fait sécher dans des creusets de porcelaine, pendant une demi-heure et sous l'action de 80° R., les poudres métalliques dont j'ai parlé, après quoi je les ai mises immédiatement dans les tubes de verre que j'ai bouchés aussitôt avec des liéges. Alors l'un et l'autre métal se sont trouvés être des non-conducteurs; et le beryllium était même isolant à un tel degré, qu'une couche de $^1/_3$ de ligne d'épaisseur n'a point changé la divergence de l'électroscope. Il a fallu, pour arriver au même résultat avec l'aluminium, que la couche eût au moins deux lignes d'épaisseur. Les deux métaux ont conservé cette propriété pendant une heure, après quoi ils ont commencé à donner de nouveau passage à l'électricité, et sont redevenus conducteurs au même degré qu'auparavant, quand on a tenu les tubes ouverts pendant quelques instants. Mais ce n'est pas leur état pulvériforme qui donne à ces métaux la propriété d'être des non-conducteurs; car du fer à l'état de grande division, que Mr. Magnus avait tiré d'un oxide de ce métal, ayant été exposé à une forte chaleur dans l'un des tubes, s'est montré être un parfait conducteur, soit avant soit après le refroidissement.

Le beryllium et l'aluminium deviennent donc des corps isolants quand ils ont été convenablement séchés à l'état pulvériforme.

SUR LES MODIFICATIONS ÉPROUVÉES PAR LES FILS DE MÉTAL QUI ONT SERVI LONGTEMPS DE CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES. Lettre de Mr. PELTIER à Mr. Arago. (*Comptes rendus des séances de l'Acad. des Sc.*, du 6 janvier 1845.)

La belle et grande expérience que vous allez faire sur la conductibilité des fils, dans l'établissement d'un télégraphe élec-

trique, m'engage à vous communiquer deux faits qui s'y rattachent incidemment. Il y a douze ans environ, voulant suivre l'arrangement des molécules du plomb dans la réduction de l'acétate, j'employai, comme on le fait pour produire l'arbre de Saturne, une lame de zinc placée au milieu d'une large spire d'un gros fil de rosette; les deux extrémités supérieures émergées étaient soudées pour former un couple voltaïque. Au bout de six mois ou d'un an, la portion immergée du fil de cuivre, très-ductile dans son origine, devint tellement aigre, qu'elle se rompait sous le plus petit effort; la portion émergée gardait à peu près sa ductilité, du moins elle la conservait plus longtemps. La cassure du fil aigri offrait un grenu terne, qui indiquait non-seulement un nouvel arrangement moléculaire, mais encore une cémentation avec l'un des éléments de la dissolution.

Ce même fait de la fragilité des fils se représenta plus tard lorsque j'eus établi des appareils électriques fixes au-dessus de ma maison. Ces appareils sont formés, comme l'on sait, de longs fils de rosette tendus horizontalement, destinés à soutirer l'électricité de l'atmosphère pour la conduire au centre commun, après avoir traversé un rhéomètre. Ces fils, ainsi exposés aux alternatives des saisons, des agents atmosphériques et aux courants électriques, devinrent aigres, cassants, et je fus obligé de les renouveler au bout de deux ans. Des fils argentés n'eurent pas plus de durée; des fils de laiton cassèrent au bout de six mois. Les conducteurs abrités gardent bien plus longtemps leur ductilité, et finissent cependant par s'aigrir sous l'influence d'un courant permanent.

Je me propose, au premier beau temps, et aussitôt que ma santé me permettra de parcourir les sommités du bâtiment, de renouveler tous les fils de mes appareils, en leur substituant des fils de rosette bien recuits et parfaitement étamés : j'espère que la couche d'étain sera moins perméable aux agents extérieurs que le cuivre et l'argent, et que la cémentation qui vient en

aide à l'effet de l'électricité sera atténuée en grande partie.

J'ajouterai, en terminant, qu'il est inutile de tendre fortement les fils, car une tension trop grande s'oppose à leur rétraction lorsqu'ils ont été dilatés, et la courbe du fil augmente à chaque alternative de température, jusqu'à ce qu'il y ait équilibre entre les deux forces antagonistes, l'extension mécanique, d'une part, et la contraction, de l'autre.

INSTRUCTION POUR LES GALVANOPLASTICIENS, par M.-H. JACOBI. (*St.-Petersb. Zeitung* 1844, n° 131.)

Les plaintes des galvanoplasticiens relativement à la trop grande cherté du cuivre réduit par voie galvanique, indépendamment des frais qu'occasionne la construction des moules, m'engagent à appeler l'attention sur une disposition particulière des appareils. Quoique j'en aie parlé l'an dernier dans mes leçons publiques, et que, si je ne me trompe, cette disposition ait été mentionnée dès lors, en passant, par quelques auteurs, elle ne paraît pas avoir encore été admise dans la pratique.

On sait suffisamment ce que signifie cette expression : travailler avec l'auge simple, ou avec l'anode, pour que je me dispense d'explications à ce sujet. Quand on opère suivant ce mode, on a besoin, en nombres ronds, pour avoir une livre de cuivre moulée, d'environ une livre de zinc, de quatre livres de sulfate de cuivre, et d'une petite quantité d'acide sulfurique avec laquelle on commence à aciduler la dissolution dans laquelle plonge le zinc. Si l'on travaille avec l'anode, et que, comme d'ordinaire, on se serve d'une batterie de Daniell [1], on a

[1] L'auteur entend par là l'emploi d'un couple ordinaire de Daniell, dont le courant, traversant une solution de cuivre, décompose cette solu-

besoin, outre les matériaux que je viens d'indiquer, d'une livre de cuivre pour l'anode, et l'on peut, à cet effet, se servir de toute espèce de débris de ce métal. Mais dans cet arrangement l'on obtient, outre une livre de cuivre moulé, une livre de cuivre réduit par voie galvanique, qui se dépose contre le cuivre du couple. Nous voyons donc par là qu'il est parfaitement indifférent, en ce qui concerne les frais, d'employer le procédé que nous venons de rappeler, ou le premier dans lequel le couple est formé du moule qui plonge dans le sulfate de cuivre et du zinc qui plonge dans une solution acide séparée du sulfate par un diaphragme. En effet, on peut enlever des parois de la batterie le cuivre réduit qui s'y est déposé et le faire de nouveau servir comme anode. Ce sont donc uniquement des circonstances étrangères à celles que nous venons de mentionner qui déterminent le choix entre ces deux procédés. Mais on peut, avec une livre de zinc et quatre livres de sulfate de cuivre, obtenir une quantité de cuivre moulé double de la première, c'est-à-dire deux livres; pour cela, il faut opérer avec l'anode et disposer la batterie de façon que le cuivre galvanique réduit, déposé sur ses parois, au lieu d'avoir simplement la valeur du cuivre brut, reçoive de la forme qu'il revêt une valeur supérieure, en ayant un emploi artistique ou industriel; en d'autres termes il faut, pour obtenir le résultat en question, *faire usage de l'appareil galvanoplastique même au lieu de la batterie*, c'est-à-dire combiner les deux procédés.

A cet effet, il faut prendre deux vases, dont l'un, rempli d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre, renferme le moule convenablement préparé, ainsi que des auges d'argile ou des vases munis de membranes (où se trouve le zinc qui plonge dans l'acide sulfurique étendu), en nombre proportionné à la

tion. L'un des électrodes sert d'anode, c'est-à-dire de pôle positif; il est de cuivre et se dissout à mesure dans la solution; l'autre, le cathode, sert de moule, et c'est sur lui que se dépose le cuivre métallique réduit. (R.)

grandeur du modèle. L'autre vase renferme une dissolution étendue du sulfate de cuivre, aiguisée d'acide sulfurique ou d'acide nitrique, l'anode et un second moule préparé convenablement. Si on fait communiquer le zinc et le moule du premier vase, respectivement avec le moule et l'anode du second vase, on pourra obtenir en même temps des galvanoplasties au moyen des deux moules, sans employer plus que la quantité simple de zinc et de sulfate de cuivre. Ce résultat se conçoit sans peine, car le moule qui est plongé dans le premier vase joue précisément le rôle du cylindre de cuivre d'une batterie.

Le poude[1] de sulfate de cuivre coûtant environ 16 roubles, et le poude de zinc 13 roubles, il en résulte que, si on opère avec l'auge simple, le poude de cuivre galvanique revient à 77 roubles, quand on ne tient compte que des matériaux indispensables. Mais si on fait usage du procédé que je viens de décrire, on peut obtenir pour 109 roubles deux poudes de cuivre galvanique moulé, en mettant à 32 roubles le prix du poude des débris de cuivre dont on se sert pour les anodes. Ainsi le poude de cuivre réduit pourra s'obtenir à 54 $^1/_2$ roubles au lieu de 77, économie notable si on opère en grand. La dissolution de sulfate de cuivre contenue dans le vase de l'anode n'entre pas en ligne de compte, parce qu'on n'a jamais besoin de la renouveler; il en est de même soit des frais accessoires, soit aussi du sulfate de zinc produit, ce dernier pouvant en tout cas être recueilli et vendu.

D'après les principes que j'ai exposés dans mon écrit sur la galvanoplastique, principes qui ont été confirmés par un grand nombre d'expériences, le poids du cuivre réduit, déposé sur les deux moules, est parfaitement le même; toutefois il faut, pour cela, supposer qu'on maintient toujours à un degré suffisant de saturation la solution de sulfate de cuivre dans le pre-

[1] Le poude = 16,372 kilogrammes.
[2] Le rouble = 3,15 francs environ.

mier vase. En suivant les mêmes principes, on saura toujours aussi, avec quelque réflexion, disposer l'expérience de la manière la plus convenable, particulièrement en ce qui concerne la grandeur relative des deux moules. Ont-ils entre eux trop de différence, il vaudra mieux en général, dans ce cas, surtout si on tient compte de la qualité du cuivre, se servir du plus petit des deux moules comme élément négatif du couple, et du plus grand comme anode. Mais, dans ces opérations, on a d'ailleurs à sa disposition tant de moyens de régler la marche qu'on doit suivre, qu'on peut s'écarter de cette règle et cependant procéder d'une manière convenable.

Quand les moules placés dans les deux vases ont, l'un et l'autre, leur surface recouverte de graphite, il peut arriver, entre autres circonstances, qu'on n'obtienne d'abord qu'un effet extrêmement faible. Dans ce cas, on mettra momentanément le moule du premier vase en communication immédiate avec le zinc, et on établira l'appareil des anodes dès que ce moule sera en entier ou partiellement recouvert de cuivre.

Je profite de cette occasion pour recommander, comme liquide dans lequel on plonge le zinc, une dissolution de bi-sulfate de potasse. Ce sel, qu'on obtient dans la préparation de l'acide nitrique, est bon marché; il agit avec plus d'énergie, parce que sa dissolution peut être employée à un plus grand degré de concentration, et il permet de se dispenser presque entièrement d'amalgamer le zinc[1].

[1] Nous avons vu employer avec grand avantage le fer au lieu du zinc dans le couple destiné à travailler avec l'anode. Le courant qui en résultait était assez fort pour donner le résultat désiré, et l'économie était grande, vu le prix inférieur du fer comparé au zinc. D'ailleurs le sulfate de fer qui se produit dans l'opération, est d'un débit plus facile que le sulfate de zinc. (R.)

EXPÉRIENCES SUR L'OZÔNE, par Mr. WILLIAMSON. (*Communiquées à la Société chimique de Londres*, le 19 mai. *Athenæum* du 14 juin.)

Le nom d'ozône a été donné par Mr. Schœnbein à la substance à laquelle est due l'odeur particulière que possède l'oxigène qui provient de la décomposition de l'eau par la pile voltaïque; il a conclu de plusieurs considérations ingénieuses que c'était un nouveau corps simple qu'on obtenait par la décomposition de l'azote, et il regardait par conséquent ce dernier gaz comme un corps composé. Cette dernière opinion a été combattue par Mr. Marignac, qui a montré que l'odeur d'ozône se produit également quand on décompose de l'eau complétement dépouillée d'azote. Les expériences de Mr. Williamson ont pour objet de démontrer que l'ozône est un corps composé, et que l'hydrogène est un de ses éléments. Dans ce but, il a préparé de l'oxigène chargé d'ozône en décomposant un sel de cuivre, procédé dans lequel il n'y a point de dégagement d'hydrogène; puis il a fait passer cet oxigène par-dessus du cuivre métallique réduit au moyen de l'oxide de carbone, et il en est résulté une formation très-sensible d'eau. Le pouvoir que possède l'ozône de blanchir les couleurs, montre que c'est un peroxide; ce doit donc être un oxide d'hydrogène supérieur à l'eau, quoique ce ne soit pas le peroxide d'hydrogène de Thenard, qui n'est point volatil comme l'ozône, mais fixe et sans odeur. Mr. Williamson trouve également que la substance qui est produite par l'action du phosphore sur l'air est différente de l'ozône, et que l'effet qu'elle produit, suivant l'observation de Mr. Schœnbein, sur l'iodure de potassium qu'elle décompose en libérant l'iode, est le résultat de l'action combinée qu'exercent sur ce composé l'acide phosphorique et l'oxigène libre.

PRODUCTION DE L'ÉTINCELLE ÉLECTRIQUE PAR LES COURANTS D'INDUCTION DUS AU MAGNÉTISME TERRESTRE, SANS L'EMPLOI DU FER DOUX, par Mr. PALMIERI.

Nous avons inséré dans le N° 9 des *Archives* (T. III, p. 341, année 1843) un résumé des recherches de Mr. Santi Linari et Palmieri sur les courants d'induction qu'ils ont réussi à produire, en employant le magnétisme terrestre pour aimanter des cylindres de fer doux entourés d'un fil de métal recouvert de soie. Plus tard, dans le N° 13 (T. IV, p. 172, 1844), nous avons reproduit l'extrait d'une lettre, en date du 2 mars 1844, par laquelle Mr. Palmieri annonce à Mr. le professeur De la Rive qu'il a obtenu, de concert avec Mr. Santi Linari, une étincelle très-visible au moyen de ces courants d'induction. Dès lors Mr. Palmieri a publié dans les *Mémoires de l'Acad. des Sc.* de Naples une description de la batterie magnéto-électro-tellurique, et une note sur les phénomènes que peuvent produire les courants d'induction qu'on obtient au moyen de cette batterie. Ces publications ne contiennent aucun fait important qui ne soit déjà consigné dans les deux communications que nous venons de rappeler. Elles entrent seulement dans plus de détails sur la construction de la batterie magnéto-électrique et sur les effets qu'on en obtient ; il y est question de l'emploi de l'extra-courant pour rendre l'étincelle plus visible, ce qui consiste à faire passer le courant produit par la batterie à travers un fil roulé lui-même en hélice, dans l'intérieur duquel on met, si l'on veut, un cylindre de fer doux. Il en résulte, comme on sait, la production d'un extra-courant qui renforce beaucoup le courant primitif. La substitution de fils de fer à des cylindres formant une seule masse, dans l'intérieur des hélices, ne paraît pas influer en rien sur la production des courants d'induction dus à la terre, tandis qu'elle influence, ainsi

que l'a observé Dove, la production des autres courants d'induction.

Une nouvelle communication de Mr. Palmieri à Mr. le professeur De la Rive, en date du 29 mars 1845, nous apprend que le savant physicien italien a réussi à obtenir l'étincelle électrique par l'induction du magnétisme terrestre avec une simple hélice en fil de cuivre, sans l'emploi du fer doux. Voici comment il est parvenu à ce résultat remarquable.

Un fil de cuivre recouvert de soie du diamètre d'un millimètre et demi environ est enroulé autour d'un cadre de bois ayant la forme d'une ellipse, dont le grand axe a $1^m,2$ de longueur et le petit $0^m,9$. Ce cadre elliptique est disposé de façon que son grand axe, autour duquel on le fait tourner, est perpendiculaire à la direction du méridien magnétique. Le fil de cuivre avait une longueur suffisante pour faire 200 tours autour du cadre; avec 120 tours on obtient aussi l'étincelle.

Un fil de cuivre d'un diamètre plus considérable donne une étincelle plus brillante; mais il faut alors lui donner une plus grande longueur afin d'avoir une tension suffisante pour obtenir l'étincelle, sinon on a bien une grande quantité d'électricité, ainsi que l'indique un galvanomètre à fil court, mais on n'a pas l'étincelle. Quand on emploie des fils d'un petit diamètre, il faut les enrouler autour des tubes de fer doux; mais quand les fils sont gros, il vaut mieux en faire une hélice à grand diamètre en se passant de fer doux. En d'autres termes, pour avoir plus de tension, il est préférable d'employer le fer doux, et pour avoir plus de quantité, il vaut mieux donner un plus grand diamètre aux hélices.

On peut construire, pour un cabinet de physique, un appareil suffisamment fort avec deux ou trois tubes de fer doux, sur lesquels on enroule un fil de cuivre de $^1/_2$ à $^3/_4$ de millimètre de diamètre; cet appareil est parfaitement suffisant pour démontrer les principaux phénomènes d'induction du magnétisme terrestre.

DE L'ACTION DU MAGNÉTISME SUR TOUS LES CORPS, par Mr. Edmond BECQUEREL. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, du 9 juin 1845.)

On peut déduire des résultats consignés dans le mémoire que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie, les conclusions suivantes :

1° Lorsque des barreaux de fer doux, cylindriques et pleins, de même longueur et de diamètre différent, oscillent sous l'influence d'un aimant, le cube du temps des oscillations est proportionnel au poids du barreau, ou bien au carré du diamètre.

Cette loi entraîne la suivante :

2° Lorsque des barreaux de fer doux, cylindriques, de même longueur et de diamètre différent, sont soumis à l'influence d'un barreau aimanté, ils s'aimantent momentanément, de telle sorte que l'intensité magnétique de chaque barreau, ou la somme des actions magnétiques moléculaires, est proportionnelle à la racine cubique du poids ou à la racine cubique du carré du diamètre. Il résulte de là que l'action magnétique exercée sur chaque fibre élémentaire des barreaux est d'autant plus faible que celui-ci est plus gros, et cette action est en raison inverse de la puissance $^2/_3$ du poids.

3° Lorsque des barreaux cylindriques creux sont exposés à l'influence d'un aimant en même temps que des barreaux cylindriques pleins de même poids, l'action magnétique exercée sur chaque fibre élémentaire des premiers, est plus forte que celle qui a lieu sur chaque fibre des seconds.

4° Lorsqu'un aimant est placé à une certaine distance d'un barreau, et que, dans ce dernier, la densité magnétique ou la

quantité de particules de fer comprises sous le même volume varie ; alors, si cette densité est plus grande que $^1/_{10}$, l'action élémentaire de l'aimant est proportionnelle au carré de la densité magnétique du barreau. Si cette densité est beaucoup plus faible, et que les particules de fer soient très-éloignées, cette action est proportionnelle à la densité magnétique.

La seconde partie de la loi précédente a été établie par Coulomb.

5° L'action exercée de la part d'un aimant sur le fer est toujours la même, que le métal soit à l'état malléable, à l'état de limaille, ou bien de poudre impalpable réduite par l'hydrogène, si l'on a égard à la densité magnétique de la matière.

6° A la température ordinaire, le magnétisme spécifique du nickel doux malléable est le même que celui du fer doux ; c'est-à-dire que deux barreaux semblables de fer doux et de nickel doux, de même longueur et de même poids, oscillent dans le même temps sous l'influence d'un aimant.

7° D'après les considérations exposées dans ce mémoire, quoiqu'on n'ait pas pu se procurer du cobalt doux malléable, il est probable que son magnétisme spécifique à la température ordinaire est le même que celui du fer doux et du nickel.

8° La force coercitive du cobalt augmente beaucoup plus que celle des deux autres métaux magnétiques, lorsque étant à l'état d'éponge on le soumet à la compression ou qu'on le frappe.

9° Le nickel perd sa faculté magnétique vers 400 degrés, le fer au rouge cerise, et le cobalt au rouge blanc du feu de forge.

10° Le magnétisme spécifique du fer doux ne varie que très-peu entre la température ordinaire et celle du rouge sombre. Seulement, au rouge sombre, elle augmente de $^1/_{100}$, ce qui montre qu'à la température ordinaire ce métal se comporte comme ayant une faible force coercitive.

11° Le magnétisme spécifique de la fonte de fer et de l'acier

augmente avec la température, de telle sorte, qu'avant de s'anéantir dans ce métal au rouge cerise, il est égal à celui du fer doux.

Au rouge naissant, le magnétisme spécifique de la fonte est à son maximum.

12° Le nickel, le cobalt, et leurs carbures se comportent comme le fer et ses carbures. Ainsi, la fonte de fer au rouge sombre, la fonte de nickel avant 400 degrés, et la fonte de cobalt au rouge cerise ont le même magnétisme spécifique que le fer doux, le cobalt et le nickel.

Ces expériences ont été faites par une nouvelle méthode d'observation, en suspendant les barreaux à un fil de torsion de platine par un étrier de même métal, en exposant le tout à la température convenable, et faisant osciller ces barreaux sous l'influence des aimants.

13° Le magnétisme spécifique de l'aimant naturel (fer oxidulé) devient nul avant la température rouge. Il augmente depuis la température ordinaire jusqu'à cette limite. A la température ordinaire, le magnétisme spécifique du fer oxidulé cristallisé est de 0,48, celui du fer étant 100.

On peut exprimer par le tableau suivant l'action de la chaleur sur les trois métaux magnétiques :

(*Voyez le tableau page* 194.)

Les nombres donnés pour le cobalt malléable sont hypothétiques ; mais, d'après les analogies, on est porté à les supposer tels que je les ai indiqués.

14° Le magnétisme spécifique du fer étant 1 000 000, celui des échantillons de chrome et de manganèse que j'ai pu me procurer est 250 pour le chrome, et 1137 pour le manganèse. D'après de si faibles nombres, on ne peut décider si cette action est due à un mélange de fer.

15° Tous les corps naturels, les métaux préparés par les procédés ordinaires, obéissent à l'action du magnétisme, comme

TEMPÉRATURES.	NICKEL.		FER.			COBALT.	
	malléable.	fondu et carburé.	malléable.	fondu et carburé.	Acier.	malléable.	fondu et carburé.
Température ordinaire. .	100	62 (variable)	100	80	(variable.)	100 ?	41 (variable)
Au-dessous de 400 degr.	Le fer, le nickel et la fonte de nickel ont la même action.		»	»	»	»	»
Vers 400 degrés	0	0	»	»	»	»	»
Rouge naissant.	. . . .	. . . .	104	109 (maximum)	»	104 ?	107 (maximum)
Rouge sombre.	. . . .	. . . .	104	104	104	104 ?	»
Rouge cerise.	. . . .	. . . .	0	0	0	104 ?	104
Rouge éblouissant du feu de forge.	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	. . . .	0	0

l'a observé le premier Coulomb ; mais cet effet a lieu principalement avec les matières organiques, les roches et les minéraux cristallisés.

16° Cette action ne reste jamais la même pour une même substance, et elle varie avec sa pureté. A mesure que l'on purifie la silice, l'iode, le camphre, cette action diminue et s'anéantit complétement dans certains échantillons.

17° La fraction de fer nécessaire pour produire ces phénomènes, ne serait pas la $^{1}/_{1000000}$ partie en poids de l'aiguille soumise à l'expérience pour les échantillons les plus purs. Il y a des probabilités, d'après cela, pour que ces effets soient dus à des mélanges de matières ferrugineuses ou magnétiques.

J'ai donné, dans un tableau, le magnétisme spécifique de quelques-unes des principales roches qui composent l'écorce du globe.

PHÉNOMÈNES SONORES PRÉSENTÉS PAR DES ÉLECTRO-AIMANTS, par Mr. J.-P. MARRIAN. (*Institut* du 8 janvier 1845.)

J'ai observé quelques phénomènes résultant de l'influence magnétique dans des barreaux de fer; et comme je n'ai pas vu qu'ils aient encore été remarqués, je désire présenter quelques détails sur des expériences que j'ai entreprises dans l'espoir qu'elles conduiront à des recherches plus étendues, d'autant mieux que je pense qu'on pourrait recueillir un grand nombre de faits extraordinaires aussi bien que des résultats importants, si on poursuivait ce sujet. J'ai déjà fait un grand nombre d'expériences, mais je me bornerai à citer seulement ici celles qui présentent le plus d'intérêt.

Il y a déjà bien longtemps que j'ai commencé une série d'ex-

périences sur le pouvoir conducteur de différents métaux, et, entre autres épreuves, je me suis servi de barres de fer forgé, et ai trouvé que, quand un barreau de ce métal est tellement disposé qu'il puisse être converti en un aimant électrique, à l'instant où le magnétisme lui est communiqué, il *rend un son*, et qu'on entend un autre son aussitôt que le courant galvanique vient à cesser. Les deux sons ne paraissent pas toutefois exactement identiques, mais ils semblent correspondre à ceux qui peuvent être produits par la séparation et l'attraction alternatives des particules ou de certaines particules composant la matière sur laquelle on agit. Toutefois, pour faire mieux comprendre le sujet, j'entrerai dans le détail de quelques expériences.

J'ai construit une hélice de gros fil de cuivre à l'extérieur de laquelle s'en trouvait une autre de fil beaucoup plus fin, disposée de manière que les deux hélices pussent être aisément séparées. J'ai inséré un barreau de fer doux d'un pouce de diamètre et de 20 pieds de longueur dans l'hélice composée, dont le fil primaire a été mis en communication avec une batterie; en ouvrant le circuit, on a entendu un son très-perceptible dans le fer, et un autre quand on l'a rétabli. Alors j'ai pris des barreaux de différentes dimensions et variables d'épaisseur depuis un quart de pouce jusqu'à deux pouces, et en longueur depuis six pouces jusqu'à 20 pieds, et tous ont fait entendre un son variable, néanmoins, sous le rapport de l'intensité, d'abord suivant les dimensions du barreau, en second lieu suivant que son diamètre remplissait ou ne remplissait pas l'hélice, en troisième lieu d'après la force de la batterie, en quatrième lieu suivant sa position dans l'hélice, car si son extrémité n'était pas placée au-delà du centre du fil primaire, il n'y avait nul effet magnétique produit et le barreau ne faisait entendre aucun son; enfin tout paraissait dépendre en grande partie de l'état du fil secondaire, attendu que les sons diminuaient considérablement quand on réunissait les bouts, et

que la diminution était plus considérable lorsque le contact était métallique que quand on tenait les fils dans les mains. Le son produit était tonique dans chaque barreau et on pouvait l'imiter en frappant l'extrémité du barreau avec une substance métallique quelconque; mais on ne pouvait produire rien de semblable par un coup frappé latéralement. J'ai essayé des barreaux d'argent, de cuivre, de zinc, d'étain, de laiton, mais il ne s'est produit rien de semblable.

Dans trois barres de dimensions égales, une de fer doux, une d'acier trempé, et la troisième un aimant permanent, on n'a pu trouver de différence sensible quant aux effets.

Ces expériences tendent à démontrer que les particules d'un barreau de fer, quand il change d'état électrique, ont une tendance décidément *motrice*, et cela dans la longueur du barreau et la direction de son axe. Je n'ai pas eu l'occasion de m'assurer si une excitation dans la même direction produit un courant d'induction, ce que je regarde comme très-probable; mais j'ai réuni ces faits à la hâte, afin de voir si les habiles physiciens qui s'occupent de cette branche de la science n'auraient rien, à leur tour, à nous communiquer sur ce sujet. Je pense aussi que ces faits sont de nature à en éclairer beaucoup d'autres dont je n'ai pas encore vu l'explication, mais je réserve mes hypothèses pour une occasion future.....

DES VIBRATIONS ÉLECTRO-MAGNÉTIQUES, ET DE QUELQUES AUTRES, par W. BEATSON. (*Electrical Mag.*, avril 1845.)

L'auteur, ayant eu connaissance de l'expérience par laquelle Mr. Marrian obtient un son en établissant et en interrompant le circuit voltaïque d'un électro-aimant, annonce qu'il a remar-

qué ce même fait il y a plus de deux ans. C'est d'abord en appliquant l'oreille aux extrémités d'un puissant électro-aimant en forme de fer à cheval, qu'il a entendu une espèce de coup, soit pulsation, chaque fois que le circuit voltaïque était fermé ou ouvert. Puis, ayant suspendu une barre de fer dans l'intérieur d'une hélice, de manière qu'elle pût vibrer librement, il a obtenu le même son, mais plus distinct. Avec une batterie voltaïque plus puissante que celle qu'il avait d'abord employée, et en établissant et interrompant le circuit plusieurs fois de suite, il a obtenu des sons aussi forts et aussi distincts que ceux que pouvait rendre une petite cloche.

L'auteur s'était d'abord servi d'une barre de fer longue de 5 pieds et large de 3 pouces, mais il a obtenu également un son distinct avec un fil de fer de 6 pouces de longueur et de $^1/_8$ de pouce de diamètre. Il est peu important que la barre de fer soit droite ou en forme de fer à cheval ; un anneau de fer continu, entouré dans tout ou partie de sa circonférence d'une hélice traversée par le courant, rend également le même son.

Une barre d'acier fondu de 2 pieds de longueur et de 1 pouce de diamètre n'émettait point de son sensible quand elle était fortement trempée, même sous l'influence d'un très-fort courant. Si on diminuait au moyen de la chaleur le degré de trempe de la barre, de façon à l'amener à la couleur jaune-paille, un léger son commençait à se faire entendre ; mais ce son était plus fort en établissant le contact qu'en l'interrompant. Lorsque la barre, après avoir été amenée à la chaleur rouge et refroidie lentement, avait tout à fait perdu sa trempe, elle rendait des sons presque aussi forts que ceux qu'on pouvait tirer dans les mêmes circonstances d'une barre de fer doux.

Une barre de fonte de fer de 6 pieds de longueur et de 3 pouces de diamètre, ne donnait qu'un son passablement faible, ce qui tenait probablement, comme dans le cas de l'acier, à la dureté du métal.

Les vibrations sonores paraissent être dues à l'aimantation et

à la désaimantation successives qu'éprouvent les barres de fer ; car on obtient le même effet en agissant sur elles non plus directement par le courant électrique, mais par un électro-aimant dont les pôles sont rapprochés des extrémités de ces barres. D'ailleurs le fer doux, qui est le plus susceptible d'acquérir et de perdre promptement le magnétisme, est aussi celui qui se trouve dans les conditions les plus favorables pour la production du phénomène.

Mr. Beatson a ensuite essayé de produire des vibrations en faisant passer à travers des conducteurs métalliques mêmes, un courant qu'on pouvait, au moyen d'un artifice, établir et interrompre rapidement. Un fil de laiton de $^1/_{50}$ de pouce de diamètre, tendu sur la caisse d'une harpe éolienne, rendait un son distinct. Aveo un fil de cuivre du même diamètre, le son était plus faible et très-difficile à entendre ; il était encore plus difficile à percevoir avec un fil de platine, tellement que l'auteur n'ose affirmer qu'il y en eût un. Avec un fil de fer de $^1/_{16}$ de pouce de diamètre, il était très-fort, et ressemblait beaucoup à celui qu'on obtenait lorsqu'on aimantait la barre de fer en faisant parcourir au courant le tour des spires de l'hélice.

Les fils soumis à l'expérience étaient en général fortement tendus ; cependant, au delà d'un certain degré, une augmentation de tension diminuait plutôt l'effet.

L'auteur est disposé à croire que ces phénomènes sont dus à une expansion suivie d'une contraction que font éprouver aux métaux le passage du courant électrique et sa cessation, expansion tout à fait distincte de celle qui est due à la chaleur.

DES MOUVEMENTS VIBRATOIRES QUE DÉTERMINENT DANS LES CORPS, ET ESSENTIELLEMENT DANS LE FER, LA TRANSMISSION DES COURANTS ÉLECTRIQUES ET LEUR ACTION EXTÉRIEURE, par Mr. le Professeur DE LA RIVE.

En 1837, Mr. Page avait obtenu un son musical en approchant d'une spirale plate, traversée par un courant électrique, l'un des pôles ou les deux pôles d'un fort aimant en fer à cheval. Toutes les fois qu'il établissait ou qu'il interrompait le circuit dans le fil de la spirale, il entendait dans l'aimant un son prolongé[1]. En 1838, Mr. Delezenne réussit à produire également un son en faisant tourner rapidement l'armure de fer doux devant les pôles de l'aimant en fer à cheval d'une machine de Saxton ; il obtint le même effet en faisant tourner un court barreau aimanté entre les branches d'un fer doux recuit. Dans le premier cas c'était l'aimant, dans le second c'était le fer doux qui rendait le son[2].

En 1843, occupé à des expériences sur les effets chimiques des courants d'induction, je m'aperçus fréquemment que le morceau de fer doux, placé dans l'intérieur de l'hélice pour accroître l'intensité de ces courants, éprouvait de fortes vibrations par l'effet du passage et de l'interruption alternative, dans le fil de l'hélice, du courant que produisait un fort élément de Grove. Je fis alors quelques essais en plaçant dans la bobine des lames et des tiges de fer doux, ainsi que l'une des branches d'un diapason également de fer doux, fixé verticalement par sa partie coudée, sur une table d'harmonie. On entendait, outre

[1] *Bibl. Univ., nouvelle série*, t. XI, p. 398.
[2] *Bibl. Univ., nouvelle série*, t. XVI, p. 406.

une série de coups correspondant aux passages et aux interruptions alternatives de ce courant, quelques sons musicaux qui me parurent être semblables à ceux que rendaient ces mêmes morceaux de fer doux quand ils étaient frappés directement.

Je communiquai ces résultats à la *Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, le 21 mars 1844. Le 15 janvier 1845, je fis part à la même société d'expériences desquelles il résultait que le passage d'un courant discontinu à travers un barreau, ou encore mieux, un fil de fer doux tendu sur une table d'harmonie, y détermine des vibrations qui produisent un son musical très-fort. J'ajoutai que ce même effet est produit, mais à un degré beaucoup moindre, par le passage du courant discontinu à travers l'acier et tous les autres métaux. Dès lors j'ai vu dans *l'Institut* du 8 janvier 1845, que Mr. Marrian de Birmingham a réussi également à produire un son très-prononcé dans un barreau de fer doux, placé dans l'intérieur d'une hélice, au moment où il établit, ainsi qu'au moment où il interrompt le circuit voltaïque dans le fil de cette hélice. J'ai appris également que Mr. Gassiot avait fait en 1844 cette même expérience en grand, avec les puissants appareils qu'il possède, et qu'il avait obtenu des sons d'une intensité remarquable. Mr. Beatson, dans le numéro d'avril de *l'Electrical Magazine*, dit avoir observé ce genre de phénomènes depuis deux ans environ, et n'avoir eu connaissance des résultats analogues obtenus par Mr. Marrian, que par la *Litterary Gazette* de novembre. Mr. Beatson ajoute qu'il a récemment obtenu un mouvement vibratoire en faisant passer le courant à travers un fil de fer, ainsi qu'à travers des fils d'autres métaux; mais, dans ce dernier cas, l'effet était beaucoup moins prononcé. Ces faits sont tout à fait semblables à ceux que j'avais communiqués à la *Société de Physique et d'Histoire naturelle*, le 15 janvier de cette année. C'est ce qui fait qu'aussitôt que j'en ai eu connaissance, j'ai transmis à Mr. Arago, pour être communiqué à *l'Académie des Sciences*, un extrait de mon travail; cet extrait a été inséré dans le *Compte*

rendu des séances de l'Académie du 28 avril 1845. Du reste j'ai reproduit, dans le présent numéro des *Archives*, l'article de *l'Institut* relatif à l'expérience de Mr. Marrian, ainsi que la traduction de la notice de Mr. Beatson, qui a paru dans *l'Electrical Magazine*.

Je passe maintenant à mes propres expériences, que je vais exposer avec quelques détails.

PREMIÈRE PARTIE — *Etude générale des vibrations produites par l'action extérieure des courants sur le fer.*

Les appareils dont je me suis servi pour rendre le courant discontinu, sont de différents genres. Je les nommerai *rhéotomes*, pour me servir d'une expression déjà employée par Mr. Wheatstone, dans son mémoire sur *plusieurs instruments pour déterminer les constantes d'une batterie voltaïque*. (*Archives de l'Electricité*, tome IV, p. 102.) L'un est une simple roue dentée, qu'on fait tourner plus ou moins vite autour d'un axe qui passe par son centre, et dont les dents frappent successivement une lame métallique élastique ; chaque fois que cette lame et la dent de la roue sont en contact, le circuit est établi ; chaque fois que ce contact n'existe plus, le circuit est interrompu. Un compteur adapté à l'appareil indique la vitesse de la rotation imprimée à la roue et, par conséquent, le nombre de fois que, dans une seconde, le courant a été établi et interrompu. Un autre appareil, assez semblable à celui que je viens de décrire, n'en diffère qu'en ce que le contact entre les dents de la roue et la lame élastique est plus prolongé, et qu'en ce qu'il peut donner aux courants discontinus une direction alternativement contraire. De tous les rhéotomes celui qui, dans ce genre d'expériences, m'a paru préférable, c'est un appareil dans lequel le circuit est fermé au moyen de deux aiguilles de laiton, communiquant métalliquement ensemble

par un axe commun, sur lequel elles sont implantées par leur centre et auquel un mouvement d'horlogerie imprime un mouvement de rotation; ces deux aiguilles, dans leur mouvement rotatoire, plongent chacune dans une capsule pleine de mercure, et en sortent alternativement avec une vitesse telle qu'elles ferment et ouvrent le circuit environ 30 fois dans une seconde. Enfin j'ai fait aussi quelquefois usage du courant d'induction comme de courant discontinu, soit de celui qui a lieu dans le fil enroulé parallèlement autour d'une bobine avec le fil qui transmet le courant inducteur, soit de celui qui a lieu dans ce dernier fil même. Le mouvement de va et vient, qui est produit par l'aimantation et par la désaimantation alternatives d'un barreau de fer doux, placé dans l'intérieur d'une hélice dont le fil est traversé par un courant électrique, m'a aussi procuré le moyen d'établir et de rompre alternativement le contact entre deux conducteurs de platine, faisant partie du circuit que je veux alternativement ouvrir et fermer. Il faut, pour faire marcher cet appareil, un petit couple voltaïque indépendant de ceux qui composent la pile dont le courant doit parcourir le circuit soumis à l'expérience ; ce petit couple est destiné à produire le mouvement de va et vient, et à rendre ainsi discontinu le courant de la pile [1]. Les rhéotomes étaient toujours placés, ainsi que l'appareil voltaïque dont ils devaient rendre le courant discontinu, dans une salle différente de celle où les corps devaient être mis en vibration; il y avait même, entre ces deux salles, une troisième salle traversée par

[1] La plupart de ces appareils ont été construits par Mr. Bonijol, avec les soins intelligents que cet artiste distingué apporte à la construction de tous les instruments qui sortent de ses mains. Mr. Bonijol m'a été aussi d'un grand secours dans la série d'expériences que j'ai été appelé à faire, et dont je vais rendre compte; indépendamment des services qu'il m'a rendus par son exactitude dans les observations, il m'a plus d'une fois facilité ma tâche par la manière ingénieuse dont il a su réaliser, par la construction d'un appareil, les expériences que j'avais en vue.

les conducteurs de cuivre, destinés à transmettre le courant. Ces précautions étaient prises pour empêcher que le bruit du rhéotome ne vînt troubler l'observateur dans la perception des sons provenant des mouvements vibratoires dus à l'action du courant électrique.

J'ai d'abord étudié d'une manière générale les mouvements vibratoires que déterminent les courants discontinus dans les corps placés dans l'intérieur de l'hélice dont ils parcourent le fil. Des hélices de différents diamètres, des morceaux de fer doux de différentes formes et de différentes dimensions ont été soumis à l'expérience. Enfin de la limaille de fer même a été placée dans l'intérieur de l'hélice.

Quelle que soit la forme et la grandeur des morceaux de fer doux, on distingue toujours deux sons : l'un est une suite de coups ou plutôt de chocs plus ou moins secs, assez analogues dans quelques cas au bruit que fait la pluie en tombant sur un toit de métal ; ces coups correspondent exactement aux alternatives de passage et d'interruption dans le courant ; l'autre son est un son musical plus ou moins aigu, qui correspond au son que donnerait la masse de fer par l'effet de vibrations transversales, ou aux harmoniques de ce son.

Les tiges de fer doux sont de beaucoup celles qui donnent les sons les plus intenses dans les mêmes circonstances ; si le courant est fort il n'y a pas une grande différence entre l'intensité du son que rend une tige de fer écroui, et une tige semblable de fer recuit ; mais le son est toujours beaucoup plus faible avec une tige d'acier ; il est également beaucoup plus aigu et plus *métallique*[1]. Une grosse masse de fer cylindrique de 10 centimètres de diamètre, et pesant 10 kilogrammes, placée dans l'intérieur d'une bobine entourée d'un gros fil de cuivre re-

[1] Le mot *métallique* me paraît bien exprimer l'idée d'un son plus clair, plus sec, plus brillant, tel que le rend une corde de métal, comparé à celui que rend une corde à boyau.

couvert de soie, et faisant 5 ou 6 tours autour de la bobine, rendait un son musical très-clair et brillant ; c'était le même que celui qu'on lui faisait rendre en la frappant. J'ai obtenu également un son remarquable en plaçant dans l'intérieur de la même bobine un tube de tôle de fer doux, très-mince, d'un diamètre un peu moindre que celui de la bobine, et qui, implanté sur une rondelle de bois, communiquait au moyen de cette rondelle avec une table d'harmonie. On entendait alors plus d'un son ; il est probable que l'air était mis en vibration dans l'intérieur du tube. Enfin une tige de fer doux de *trois* mètres de longueur et de *un* centimètre de diamètre, implantée par une de ses extrémités dans la table d'harmonie, donnait, outre le son fondamental qui résulte de ses vibrations transversales, d'autres sons également perceptibles et très-bien soutenus.

Dans tous ces cas on a remarqué que le son avait plus d'intensité quand l'hélice agissait sur le milieu de la tige, du tube ou du barreau de fer doux. Il y avait aussi plus d'intensité dans le son, quand l'hélice agissait sur la partie de la tige située à un quart de sa longueur à partir de son extrémité libre.

Les résultats que je viens de décrire diffèrent notablement de ceux qu'a obtenus Mr. Marrian. Ce physicien a trouvé que le fer doux, l'acier trempé et les aimants produisent les mêmes sons ; j'ai trouvé, au contraire, de grandes différences entre les sons produits dans ces différents cas. Il n'a obtenu qu'un seul son tonique; j'en ai obtenu plusieurs. Ces différences tiennent probablement à ce que Mr. Marrian, dans ses expériences, se bornant à fermer ou à ouvrir le circuit une seule fois, n'avait qu'un son de peu de durée, tandis que, dans les miennes le circuit étant ouvert et fermé alternativement plusieurs fois de suite, 30 fois par exemple dans une seconde, j'obtenais un son soutenu plus convenable pour l'observation.

Voulant me bien rendre compte de la nature de la vibration qu'éprouve le fer doux quand il est ainsi successivement aimanté

et désaimanté par l'influence d'un courant électrique discontinu, j'ai pris un disque de tôle très-mince, et le tenant par une tige de laiton implantée à son centre, je l'ai introduit dans l'intérieur de l'hélice ; j'avais eu soin de lui donner un diamètre un peu moindre, afin que ses bords ne touchassent pas les parois de la bobine autour de laquelle le fil de l'hélice était enroulé. Ce disque a manifesté immédiatement une tendance à se placer de façon que son plan, au lieu d'être perpendiculaire à l'axe de l'hélice, lui fût parallèle ; il se plaçait en effet ainsi, dès qu'il n'était plus retenu par la tige; mais la résistance de la tige s'opposant à ce qu'il prît cette position, il s'est mis à vibrer avec une grande force, à cause des changements de forme que la tendance que lui imprimait le courant, jointe à sa minceur et à son élasticité, déterminait chez lui. Ce genre d'effet tout mécanique, et qui s'exerce sur l'ensemble de la masse, doit être distingué avec soin de la vibration moléculaire que détermine l'aimantation. Il en est de même quand on introduit dans l'intérieur de l'hélice une lame mince de fer doux, ou l'une des branches d'un diapason ; l'action mécanique qu'exerce le courant sur la masse tout entière du fer qu'il a aimanté, y détermine des vibrations semblables à celle qu'y déterminerait toute autre action mécanique. Pour se mettre à l'abri de ces vibrations-là, il faut ou fixer assez solidement le morceau de fer soumis à l'expérience, ou le placer dans la position même qu'abandonné à lui-même il prendrait dans l'intérieur de l'hélice, par l'effet de l'action de l'hélice sur lui. Ainsi, si c'est une tige de fer doux, il faut, ou la fixer solidement par ses deux extrémités, ou qu'elle soit enfoncée de façon que son milieu soit exactement au milieu de l'hélice, car, laissée libre ou flottante sur du mercure dans l'intérieur d'une hélice dont l'axe est horizontal, c'est ainsi que la place l'action d'un courant qui traverse le fil de l'hélice. Il en est de même pour des pièces de fer ayant d'autres formes.

Revenant au disque, j'ai réussi à lui faire produire un petit

bruit très-aigu, en l'empêchant d'exécuter ses vibrations d'ensemble, et en le plaçant au milieu de l'hélice perpendiculairement à son axe. Je l'ai mis dans la même position, mais d'une autre manière, c'est en le faisant flotter sur de l'eau dont le niveau correspondait exactement au milieu de l'hélice ; j'avais légèrement graissé sa surface pour qu'il pût être ainsi soutenu horizontalement dans l'eau. On n'entendait plus de son, mais on voyait un léger mouvement ondulatoire dans l'eau autour de sa circonférence; ce mouvement était beaucoup plus prononcé sur la surface centrale de l'eau, qu'on mettait à découvert en enlevant le centre du disque de manière à en faire un anneau; on voyait alors sur l'eau une série d'ondulations concentriques, dont le centre coïncidait avec celui de l'anneau.

Mais les effets les plus remarquables de mouvement, que j'aie obtenus, ont été produits en employant de la limaille de fer très-fine, et de fer aussi doux que possible. Je l'ai placée sur un disque qui était le fond d'une boîte cylindrique de carton, d'un diamètre tel qu'elle entrait exactement dans la grosse bobine de 12 centimètres de diamètre. Le courant d'une forte pile de Grove (5 éléments de 6 pouces de côté) traversait le fil de l'hélice d'une manière discontinue. L'hélice elle-même était placée de façon que son axe fût vertical. Au moment où j'ai approché par en haut le disque sur lequel était la limaille, de l'ouverture de la bobine, cette limaille s'est agitée, puis une partie s'est portée au bord, une autre au centre du disque. J'ai enfoncé le disque, et dès que j'ai eu dépassé le premier fil de l'hélice, la limaille s'est dressée, et a formé une multitude de petites pyramides, toutes distinctes les unes des autres, et qui se sont mises à tournoyer et à fuir le centre pour se porter vers les bords; la hauteur des pyramides et leur mouvement ont acquis leur maximum quand le disque a été au milieu de l'hélice. En enfonçant davantage, il y a eu une légère diminution, et au fond de l'hélice une partie de la limaille était revenue au centre.

Il faut, pour que cette expérience qui est remarquable par son élégance réussisse bien, que la succession des courants discontinus ne soit pas trop rapide et que le temps pendant lequel chaque courant passe soit plus long que celui pendant lequel il ne passe pas. Ainsi elle réussit mieux avec le rhéotome à mercure qu'avec les autres; avec le rhéotome à roue dentée, l'expérience chemine très-bien s'il n'y a que 20 à 40 interruptions par seconde; avec 80 elle réussit encore, mais moins bien; à 160 elle ne va plus du tout, il n'y a aucun effet sur la limaille. Ces résultats différents, suivant la vitesse avec laquelle les courants se succèdent, tiennent probablement à ce que le fer, même le plus doux, a encore un peu de force coercitive et qu'il lui faut un certain temps pour s'aimanter et se désaimanter. J'ai comparé sous ce rapport les uns aux autres du *fer*, du *nickel* et du *cobalt* préparés par l'hydrogène, et j'ai trouvé que la poudre de nickel manifestait encore des mouvements pour une vitesse de succession des courants à laquelle celle de fer n'en manifestait plus, et que la poudre de cobalt au contraire cessait d'en manifester avant celle de fer, ce qui est bien d'accord avec ce qu'on sait sur la force coercitive relative de ces trois métaux.

Au lieu de placer la limaille de fer sur un disque de carton, je l'ai placée sur un disque de fer; elle a bien formé également de petites pyramides dès que le disque a été enfoncé dans l'intérieur de l'hélice, mais ces pyramides n'ont manifesté aucun mouvement. Cela tient probablement à ce que les particules du disque de fer qui servent de base à chacune des pyramides ne peuvent obéir, à cause de la cohésion qui règne entre elles, à cette tendance à s'écarter les unes des autres, et que dès lors les particules de la limaille qui forment la pyramide restent immobiles à cause de la forte attraction qui les lie entre elles et qui lie à leur base celles qui sont en contact avec elle. Il suffit de placer entre la limaille et la surface du disque la feuille de papier la plus mince, pour permettre au mouvement de la

limaille de s'effectuer, mais avec quelques différences. En effet, quand dans l'intérieur de la bobine il y a un cylindre de fer doux et que de la limaille de fer est placée sur un disque de papier dont est recouverte la surface supérieure de ce cylindre, on voit, contrairement à ce qui avait lieu lorsqu'il n'y avait point de masse de fer, la limaille se porter vers les bords de la bobine si la surface sur laquelle elle repose est au niveau de la partie supérieure de l'hélice; si cette surface est au milieu de l'hélice, on voit la limaille fuir les bords en formant de petites pyramides verticales. Elle est même, dans ce cas, projetée avec une grande force jusqu'à 8 à 10 centimètres de hauteur; cela a lieu également quand il n'y a pas de masse de fer doux, s'il y a beaucoup de limaille dans l'intérieur de l'hélice.

Les phénomènes sont les mêmes quand on place la limaille sur un disque de cuivre au lieu de la mettre sur un disque de carton. En employant un disque de fer-blanc, il y a un peu de mouvement dans la limaille, tandis qu'il n'y en a point avec un disque de tôle; si le mouvement est faible, cela tient probablement à l'extrême minceur de la couche d'étain qui sépare le fer du disque de la limaille.

J'ai placé dans l'intérieur de la bobine un tube de fer doux qui y entrait à frottement juste et dont la paroi n'avait qu'un millimètre d'épaisseur; le courant le plus fort, soit continu, soit discontinu, a été sans la moindre action sur la limaille placée intérieurement comme dans les expériences précédentes. Seulement, quand on a approché le disque qui la portait à un centimètre de distance de l'extrémité supérieure du tube, elle s'est soulevée en s'agitant et a brusquement passé en entier de l'intérieur à l'extérieur du tube contre la surface duquel elle est venue se fixer en rayonnant. Un tube de laiton, semblable en tout point à celui de fer, n'a point modifié, comme celui-ci, l'action du courant sur la limaille; il en a été de même d'un tube de tôle de même dimension, qu'on avait obtenu en

roulant en cylindre une lame de tôle et en rivant simplement, sans les souder, les deux bords de la lame. Il serait intéressant de savoir si un tube de fer doux fendu dans le sens de sa longueur, mais non de l'une de ses extrémités à l'autre, se conduirait comme le tube tout continu ou comme celui qui est fendu dans toute sa longueur.

Je n'insisterai pas, pour le moment, sur les autres phénomènes que présente l'action de l'hélice sur le fer doux quand le courant qui la traverse est continu ; j'y reviendrai dans un mémoire sur l'aimantation qui doit faire suite à celui-ci. Je me bornerai seulement à remarquer que les résultats que je viens d'exposer ne sont nullement modifiés quand on place l'hélice dans l'intérieur d'un tube de fer doux où elle entre à frottement juste ; ce tube même n'est point aimanté par l'action du courant.

Je me borne également à signaler, sans m'y arrêter actuellement, un son très-prononcé que fait entendre la bobine quand le fil de cuivre roulé en hélice qui l'entoure est parcouru par un fort courant discontinu.

Seconde Partie. — *Etude plus spéciale des mouvements vibratoires dans des fils de fer.*

§ 1. Description des appareils.

Après cet examen général des phénomènes divers de vibration auxquels donne naissance l'action des courants discontinus, je passe à l'étude plus particulière des mouvements vibratoires que déterminent dans des fils de fer l'influence extérieure de ces courants ou leur transmission à travers les fils mêmes.

J'ai fait construire dans ce but un instrument semblable à un monocorde, sur lequel on peut tendre parallèlement l'une à l'au-

tre six cordes de 2 mètres environ de longueur chacune; ces cordes sont fixées par leurs extrémités à des chevilles de laiton qui permettent de les mettre soit séparément soit simultanément dans le circuit voltaïque. On peut les tendre plus ou moins au moyen d'une vis dont le pas fait marcher la pièce à laquelle est fixée l'une de leurs extrémités, ou bien encore se servir de poids pour opérer la tension, en faisant passer par-dessus une poulie le fil que l'on veut tendre ou une corde à boyau qui est fixée à son extrémité libre [1].

Les fils de fer ont tous été mis en vibration, tantôt par l'action du courant discontinu traversant le fil d'une hélice enroulée autour d'une bobine dans l'axe de laquelle passe la corde sans la toucher, tantôt au moyen du courant discontinu traversant le fil de fer même. Je désignerai, pour abréger, ces deux modes par les simples mots *action de l'hélice, action du courant transmis.* J'ai employé différentes hélices, les unes d'un diamètre extérieur de 1 centim. seulement, les autres de 3 à 4 cent.; le fil de cuivre recouvert de soie dont elles étaient formées était d'un diamètre de 2 millim. dans les plus petites, et de 3 dans les plus grosses; les tours, serrés hermétiquement les uns contre les autres, formaient cinq à six couches superposées; les hélices étaient de 8 à 10 centimètres de longueur.

§ 2. Action de l'hélice sur les fils.

En promenant l'hélice au moyen d'un petit support mobile, de manière qu'elle agisse successivement sur différentes parties du fil, on s'aperçoit bien vite que son action est le plus forte quand elle est placée de façon à agir sur les deux portions qui

[1] L'instrument que je viens de décrire a été construit par Mr. Mussard, artiste distingué de notre ville, qui a fait des recherches fort intéressantes sur les vibrations des cordes d'acier. Mr. Mussard a bien voulu également m'aider dans la détermination exacte des tons que rendaient les cordes que j'ai soumises à l'expérience, et des tensions qu'elles éprouvaient.



sont les plus voisines du milieu du fil, plutôt que sur le milieu même. Il existe encore d'autres portions du fil sur lesquelles l'action de l'hélice produit un son plus fort que sur les autres; ce sont les plus voisines des nœuds; elles changent aussi de place avec la longueur absolue du fil. Les fils qui vibrent le mieux sont des fils de fer très-doux du diamètre de 4 à 2 millim.; s'ils sont plus gros on retombe dans les tiges qui donnent des sons moins pleins, et s'ils sont moins gros on a des sons plus faibles, ce qui tient surtout à ce que des fils fins prennent un magnétisme très-faible par l'action des hélices.

Le même fil a été mis en vibration par trois hélices placées soit les unes à la suite des autres, soit à des distances plus ou moins grandes; le même courant les traversait successivement; le son a été beaucoup renforcé, et il l'était également quelle que fût dans chaque hélice la direction du courant, ce qui prouve que la portion du fil qui est logée dans l'intérieur de l'hélice s'aimante d'une manière indépendante et que, lors même que le magnétisme momentané qu'on lui imprime est contraire à celui que prend la portion qui précède et qui suit, le mouvement vibratoire qui en résulte n'est point modifié. Il n'en était pas de même quand, au lieu de faire agir sur le fil de fer des hélices successives, je soumettais la même portion à l'action de deux courants discontinus dirigés en sens contraires et circulant séparément dans deux fils enroulés ensemble autour de la même bobine, de manière à former deux hélices superposées; alors le mouvement vibratoire était nul, vu que les deux aimantations contraires, imprimées en même temps à la même partie du fil devaient se neutraliser.

§ 3. Action des courants transmis sur les fils.

Les sons que détermine la transmission du courant discontinu à travers les fils, dépendent essentiellement, quant à leur intensité, de la force du courant et du diamètre des fils. Cinq couples de Grove me donnaient un son très-fort avec un fil de

2 millim. de diamètre, et de $1^m,9$ de longueur. Le son est renforcé si l'on raccourcit les fils ; il ne faut pas pourtant les raccourcir de façon que le courant les réchauffe jusqu'à commencer à les faire rougir. Il en est de ces effets comme des effets calorifiques du courant; le maximum d'action a lieu quand la résistance du conducteur est égale à celle de la pile. Il faut donc, puisque ce sont des fils métalliques, c'est-à-dire de bons conducteurs que traverse le courant, des piles composées de couples peu nombreux, mais grands en surface ; en effet deux couples de Grove de 25 cent. de côté m'ont constamment donné des effets très-intenses, tandis qu'une pile de vingt petits couples de Daniell à forte tension ne m'en a point donné de perceptibles, non plus que le passage de l'électricité provenant d'une forte machine électrique.

§ 4. Rapports et différences entre les sons produits par l'un des modes et les sons produits par l'autre.

Quel que soit celui des deux modes qu'on emploie pour produire la vibration, pourvu que le fil soit convenablement tendu et que la succession des courants ne dépasse pas une certaine vitesse, on entend, outre une série de coups correspondants aux interruptions et aux rétablissements alternatifs du circuit, un ensemble de sons dont l'effet est surprenant et ressemble beaucoup à celui que produisent plusieurs cloches d'église vibrant dans le lointain. Le son qu'on entend le mieux, c'est l'octave aiguë du son fondamental, puis sa quinte aiguë ; on entend aussi quelquefois sa double et sa triple octave aiguë, la double et la triple octave aiguë de sa quinte et la double octave aiguë de sa tierce ; enfin le son fondamental lui-même se fait entendre plus ou moins bien. On a quelquefois assez de peine à le percevoir au milieu de ce carillon de sons différents ; c'est peut-être à cause de sa gravité. Il semblerait même que parmi les sons produits il y en a qui ne sont pas des harmoniques ; ainsi, par exemple, la quarte se fait entendre dans quelques cas.

Il suffit de toucher le fil avec le doigt en un point, pour faire disparaître tous ces sons musicaux; ils disparaissent même si on touche le fil en un point qui doit être un nœud; cependant quand la vibration est très-forte, on conserve encore la quinte en touchant légèrement le fil au tiers de sa longueur, et la double octave aiguë en le touchant au quart. Quand tous les sons harmoniques ne se font plus entendre, on ne perçoit que mieux le bruit où la série des chocs plus ou moins rapprochés que détermine le passage dans le fil du courant discontinu; leur intensité n'est nullement affectée par les obstacles qui empêchent le fil de vibrer.

Il existe cependant quelques différences entre les sons qui sont dus à l'action de l'hélice et ceux qui proviennent de la transmission directe du courant à travers le fil. Le son fondamental produit par la transmission du courant est généralement un peu plus bas, ce qui est dû au léger réchauffement que produit le courant en traversant le fil, car cette différence n'existe plus si le fil est assez gros pour ne pas se réchauffer ou si la tension reste la même malgré le réchauffement. Les sons produits par la transmission du courant sont plus facilement étouffés que ceux qui sont dus à l'action de l'hélice; ils se prolongent aussi beaucoup moins longtemps après la cessation de la cause qui leur donne naissance. Par contre, ils semblent être plus nombreux et embrasser une plus grande partie de l'échelle musicale. Ces différences tiennent probablement à la même cause, savoir que le mouvement vibratoire est disséminé dans toute l'étendue du fil dans le cas de l'action directe du courant transmis, puisque ce courant le traverse d'un bout à l'autre, tandis qu'elle est concentrée sur la partie du fil soumise à l'action de l'hélice dans le cas où c'est cette action qui produit les vibrations.

En ce qui concerne l'intensité, l'action directe du courant transmis l'emporte sur celle de l'hélice quand le courant est suffisamment fort pour échauffer légèrement le fil; elle l'emporte donc plus facilement quand le fil est fin, bien entendu

qu'il ne s'agit ici que de fils de fer doux très-bien recuits. Il n'en est plus de même si les fils sont écrouis ; le son est plus faible quand il provient du courant transmis ; on entend surtout beaucoup moins bien les sons harmoniques ; le bruit provenant de la succession des coups est souvent seul perçu. La différence est encore plus grande avec des fils d'acier ; l'intensité des sons dus à l'action de l'hélice est, dans ce cas, infiniment supérieure à celle des sons qui sont dus au courant transmis, lors même que les fils s'échauffent par le passage du courant. Les trois espèces de fil soumis à l'expérience avaient le même diamètre, de 2 millimètres, et toujours la longueur de 2 mètres à peu près ; ils étaient aussi également tendus. Je ne dois pas négliger de remarquer que, sous l'action même de l'hélice, les fils de fer écrouis et les fils d'acier donnent des sons moins forts que des fils bien recuits ; je les suppose tous placés exactement dans des conditions semblables, de même diamètre, de même longueur et également tendus.

Il paraîtrait résulter des expériences que je viens de rappeler, que l'action de l'hélice est plus propre que celle du courant transmis directement, à surmonter la force coercitive du métal dans la production des mouvements vibratoires, et que c'est à cette cause qu'on doit attribuer que son effet est proportionnellement plus fort sur les fils d'acier et de fer écroui, que sur ceux de fer recuit. Il va sans dire que le bruit provenant de la succession des chocs intérieurs des particules éprouve les mêmes variations d'intensité que les sons harmoniques mêmes.

J'ai supposé, dans ce qui précède, que le courant était transmis directement ou à travers le fil de fer même, ou à travers le fil de l'hélice, car lorsqu'il traverse successivement les deux fils de manière que son intensité soit la même dans l'un et dans l'autre, le mouvement vibratoire qu'il produit par l'intermédiaire de l'hélice est, dans tous les cas, beaucoup plus fort que celui qu'il produit par son action immédiate sur le fil de fer.

§ 5. Influence de la tension.

J'ai déjà dit que, pour avoir des sons intenses, il faut donner au fil une tension *convenable*, c'est-à-dire qu'il y a pour chaque fil une tension qui donne les sons les plus forts.

Un fil de fer recuit, de 1^m,9 de longueur et de 1 millimètre de diamètre, a donné les sons les plus intenses, quand il a été mis en vibration par l'hélice, sous la tension de 1 kilog.; l'intensité a diminué rapidement à mesure que la tension a augmenté graduellement de 1 à 8 kilogr.; elle a encore diminué sous une tension croissante de 8 à 16, et elle n'a plus éprouvé de diminution sensible de 16 à 26 kilogr., tension sous laquelle le fil s'est rompu. On n'entendait plus de sons harmoniques, mais seulement une suite de chocs singulièrement affaiblis.

Un fil de fer également recuit, de même longueur que le précédent, et du diamètre de 2 millim., mis également en vibration par l'hélice, a donné des résultats semblables; à partir de la tension de 4 kilogr., qui produisait le maximum d'intensité, les sons diminuaient de force à mesure qu'on tendait le fil davantage. Sous une tension de 60 kilogr., on n'entendait plus que les chocs; les sons harmoniques avaient disparu. Dans cette expérience, comme dans la précédente, il suffisait de diminuer ou d'augmenter subitement la tension pour produire immédiatement une augmentation ou une diminution correspondante dans l'intensité des sons.

Au lieu de faire varier la tension des fils directement par des poids, j'ai trouvé plus commode et plus exact de la faire varier en tournant plus ou moins la cheville à laquelle est fixé, sur la table d'harmonie, l'ajustage qui porte l'extrémité de chaque fil, dont l'autre extrémité est tenue par une pince solide. Un monocorde, dont la corde était mise à l'unisson avec le fil de fer plus ou moins tendu, permettait dans chaque cas de connaître

la tension de ce fil, après l'avoir déterminée directement dans un seul cas.

Dans les expériences qui suivent j'ai fait agir sur chaque fil une hélice traversée par le courant discontinu.

Les résultats qu'on obtient avec le courant transmis, diffèrent très-peu ; ils sont seulement moins faciles à apprécier exactement à cause du réchauffement qu'éprouvent les fils par l'effet du passage du courant électrique.

Fil recuit de $1^{mm},3$ de diamètre, et de $1^{m},576$ de longueur.

Tension qui donne les sons les plus forts $10^{kil.},50$ (134 vibrations par seconde.)

Tension qui donne les sons les plus faibles $12^{kil.},10$ (144 vibrations par seconde.)

NB. On entend encore un son harmonique très-aigu à cette dernière tension : elle est la plus forte que puisse supporter le fil sans se rompre.

Fil recuit de $2^{mm},2$ de diamètre, et de $1^{m},576$ de longueur.

Tension qui donne les sons les plus forts $36^{kil.},66$ (141 vibrations par seconde.)

Tension qui donne les sons les plus faibles 76 kilogr. (204 vibrations par seconde.)

Fil recuit de $2^{mm},85$ de diamètre, et de $1^{m},576$ de longueur.

Tension qui donne les sons les plus forts $35^{kil},50$ (124 vibrations par seconde.)

On n'a pu obtenir avec ce dernier fil une tension assez forte pour faire disparaître tous les sons harmoniques.

Voici encore une expérience faite sur deux fils exactement semblables, mais l'un *recuit* et l'autre *écroui*, tous les deux de 1^{m}, 576 de longueur, et de $1^{mm},8$ de diamètre.

Tensions qui donnent le maximum d'effet :	*Recuit* de 26 à 53 kilogrammes.
	Ecroui de 29 à 57 kilogrammes.

La tension de 26 et celle de 29 kilogr. correspondent pour chacun des deux fils à 81 vibrations par seconde, celle de 53 et de 57, à 107 vibrations.

Tensions qui donnent les sons harmoniques les plus faibles. { *Recuit* 70 kil. / *Ecroui* 77 kil. } 122 vibrations par seconde.

Je dois ajouter que la tension à laquelle les sons harmoniques atteignent leur maximum d'intensité, comme celle à laquelle ils disparaissaient entièrement ne sont pas pour le même fil parfaitement invariables; elles dépendent, entre certaines limites, surtout la seconde, de l'intensité absolue du courant, et de la tension plus ou moins prolongée à laquelle le fil a été préalablement soumis.

Je crois pouvoir conclure des faits que je viens d'exposer, et que j'ai étudiés avec assez de soin, que l'existence d'une tension qui donne le maximum d'intensité aux sons harmoniques, provient de ce qu'il y a, pour un fil donné, une tension qui est celle à laquelle le son qu'il rend, quand il est mis en vibration, est le plus fort. D'un autre côté les chocs intérieurs des particules les unes contre les autres, qui sont ici la cause du mouvement vibratoire, sont d'autant plus forts que les particules sont plus rapprochées, et par conséquent que la tension est moindre. C'est ce dont on s'assure en étouffant les sons harmoniques, afin de n'entendre que la série des chocs; ceux-ci ont leur maximum d'intensité quand le fil n'est point tendu, et qu'il est simplement soumis à l'action de sa rigidité propre. Mais dans cet état de tension nulle, le fil, lors même que les chocs intérieurs sont très-forts, ne peut rendre que des sons harmoniques très-faibles; il faut donc le tendre de façon à augmenter la force de ces sons, sans trop diminuer l'intensité des chocs; on parvient ainsi à la tension qui donne le maximum d'effet. Si on le dépasse, les chocs diminuent d'intensité, et on finit par arriver à une tension telle, qu'ils n'ont plus la force nécessaire pour mettre le fil en vibration.

Il serait intéressant de rechercher, en employant différents modes de faire vibrer une corde, quelle est la tension qui pour chacun donne le maximum d'effet. Au point de vue pratique, il ne serait pas non plus sans utilité de savoir quelle est la tension qu'il faut donner à une corde pour qu'elle rende le son le plus plein, et par conséquent quel est le son tonique qu'elle est le plus propre à rendre.

Mais il se passe ici un phénomène qui complique beaucoup l'étude de la question, c'est la production simultanée de plusieurs sons harmoniques. Ces sons, quand on augmente la tension au delà de celle qui donne le maximum d'intensité, ne diminuent pas tous dans la même proportion, et ne disparaissent pas tous également. Il n'est pas toujours très-facile de distinguer dans quel ordre ils s'évanouissent; mais quand, après être parvenu à la tension à laquelle ils ont tous disparu, on diminue très-graduellement cette tension, on peut très-bien déterminer dans quel ordre ils reparaissent successivement. Cette détermination n'est pas très-facile; cependant, après l'avoir faite un grand nombre de fois, je suis arrivé à des résultats qui me paraissent dignes de confiance.

Voici une expérience que je choisis entre plusieurs. Le fil de fer recuit avait $1^{m},576$ de longueur, et 2^{mm} de diamètre; il était mis en vibration par l'hélice. On l'a tendu assez fortement pour que les sons harmoniques eussent à peu près totalement disparu. A partir de cette tension, on l'a détendu très-graduellement, et on a entendu successivement :

La triple octave aiguë du son fondamental, produite par $^1/_8$ de la longueur totale du fil ;
La double octave aiguë de la quarte, produite par $^1/_6$;
La double octave aiguë du son fondamental, produite par $^1/_4$;
L'octave aiguë de la quinte, produite par $^1/_3$;
L'octave aiguë du son fondamental, produite par $^1/_2$;
Enfin le son fondamental, produit par 1.

On a aussi entendu quelquefois entre le 2e et le 3e son, produits par $^1/_6$ et $^1/_4$, la double octave aiguë de la tierce, produite par $^1/_5$ de la longueur totale de la corde.

Quand, en détendant le fil, les sons nouveaux paraissent, les anciens ne disparaissent pas, de sorte que plus il y en a, plus il devient difficile de distinguer ceux qui viennent s'ajouter à ceux qui existent déjà. Celui des sons qu'on a souvent le plus de peine à distinguer, c'est le son fondamental; la manière d'y parvenir le mieux, c'est de faire passer le fil brusquement de la tension qui correspond au minimum d'intensité des sons harmoniques, à celle qui donne le maximum.

On a encore entendu dans quelques cas, lorsque la tension était très-forte, la quadruple octave aiguë du son fondamental, c'est-à-dire le son donné par $^1/_{16}$ de la longueur totale de la corde, de même que le son donné par $^1/_{12}$, c'est-à-dire la triple octave aiguë de la quinte, et le son donné par $^1/_{10}$, la triple octave de la tierce.

Une chose assez remarquable, c'est que lorsque le fil est mis en vibration par la transmission directe du courant, ce sont les quintes qu'on entend le plus facilement; ainsi on perçoit d'abord très-bien le son produit par $^1/_{12}$ de la longueur du fil, et celui que donne $^1/_6$; ce n'est qu'après ces sons qu'on entend les octaves. C'est l'inverse quand le fil est mis en vibration par l'hélice; dans ce cas la série des octaves domine. Il ne serait pas impossible que ce dernier fait provînt de ce que, par une circonstance tout à fait accidentelle, la longueur de l'hélice dont je faisais usage était de 10 cent., et celle du fil de $1^m,576$, il en résultait que la partie du fil mise en vibration dans l'intérieur de l'hélice, était $^1/_{16}$ de sa longueur totale. Toutefois comme dans ce cas on entendait, outre les octaves, les autres sons harmoniques, je ne dois pas attacher à cette circonstance plus d'importance qu'elle n'en mérite; il m'a paru cependant convenable d'en faire mention.

Quoi qu'il en soit, il me paraît résulter évidemment des re-

cherches que je viens d'exposer que, lorsqu'un fil de métal est mis en vibration par le mouvement vibratoire que détermine soit la transmission même d'un courant électrique, soit son action extérieure, ce mouvement vibratoire est d'autant plus faible que les particules sont plus distantes ; que de plus la subdivision qu'affecte le fil dans ses vibrations, comprend des parties d'autant plus petites, que le mouvement vibratoire est plus faible. C'est pourquoi ce n'est d'abord que $^1/_{16}$ de la longueur du fil, puis $^1/_{12}$, puis $^1/_8$, puis $^1/_6$, $^1/_5$, $^1/_4$, $^1/_3$, $^1/_2$, qui sont mis en vibration ; et ce n'est que lorsque le mouvement vibratoire a atteint son maximum d'intensité, que le fil vibre dans toute sa longueur.

Je ne m'étendrai pas davantage sur ce sujet, quoique je sois convaincu qu'il est susceptible d'applications intéressantes à des questions de physique moléculaire. Cette manière de mettre les corps en vibration, par des oscillations imprimées aux particules, non pas seulement à celles de la surface, mais à celles de toute la masse, au moyen d'une action s'exerçant sur chacune d'elles directement, et non par une action mécanique extérieure, me paraît propre à jeter de la lumière sur la constitution moléculaire des corps, si on se sert dans ce but des lois de l'acoustique, comme l'a déjà fait Savart, et comme vient encore récemment de le faire avec un grand succès Mr. Wertheim. Une chose digne de remarque, c'est que, lorsqu'on fait osciller les particules par le courant électrique transmis, ou par l'influence d'un courant extérieur, circulant le long du fil d'une hélice, ce n'est jamais le son fondamental, c'est-à-dire celui que rendrait le fil naturellement par l'effet d'une action mécanique extérieure, qu'on entend le mieux ou qu'on entend seul. Ce fait serait-il dû à ce que la cause qui met les particules en vibration agit ici, surtout quand cette cause est le courant transmis, sur chacune d'elles individuellement, au lieu d'agir sur l'ensemble de la masse, par une action exercée seulement sur une portion?

§ 6. Effet comparatif de différents rhéotomes employés pour rendre le courant discontinu.

Le rhéotome dont j'ai fait le plus fréquemment usage, c'est celui à mercure ; il a l'avantage de produire les sons musicaux les plus soutenus et les chocs les moins secs. La roue dentée produit un effet précisément contraire. Je crois pouvoir attribuer cette différence à ce que, dans le rhéotome à mercure, l'interruption du courant est plus graduelle et non soudaine comme dans celui à roue dentée, à cause d'un peu de mercure qu'entraînent toujours avec elles les aiguilles quand elles en sortent. La différence est plus sensible quand c'est le courant transmis que lorsque c'est l'hélice qui met le fil en vibration. Avec le rhéotome dans lequel le courant est interrompu par le mouvement imprimé à une portion de conducteur qui fait partie du circuit, au moyen de l'aimantation et de la désaimantation alternatives d'un morceau de fer placé dans l'intérieur d'une bobine, les sons sont plus doux qu'avec la roue, moins qu'avec le mercure. Je me suis également servi, pour produire les vibrations, d'un fort courant d'induction, soit de celui qui a lieu dans le fil induit, soit de celui qui a lieu dans le fil inducteur même. Le second donnait un son plus fort, ce qui est naturel, vu que, en employant le courant induit dans le fil inducteur, on fait usage également du courant inducteur même. Dans l'un et l'autre cas, les courants discontinus étaient alternativement dirigés en sens contraires ; cela ne change rien aux résultats, ce dont je me suis d'ailleurs assuré directement, en employant un rhéotome qui transmettait le courant même de la pile voltaïque, alternativement dirigé en sens contraire.

Je reviens à la roue dentée. J'ai fait successivement passer à travers le fil même et à travers l'hélice qui l'entourait le courant rendu discontinu par la roue dentée. Avec 80 interruptions par seconde, on entend très-bien la quinte aiguë; à

160 on entend mieux l'octave ; à 320 les sons diminuent notablement d'intensité ; à 640 on n'entend plus les sons harmoniques, mais seulement un grognement qui est dû à la succession rapide des chocs des particules, provoqués par les passages et les interruptions alternatives du courant. Quand, après avoir fait marcher la roue dentée avec une grande vitesse, on ralentit le mouvement, c'est l'octave aiguë qu'on commence par percevoir la première, puis la quinte. L'ordre dans lequel les sons reparaissent successivement, est en général le même que celui qu'on obtient lorsqu'on détend graduellement le fil, après l'avoir tendu jusqu'au point où l'on n'entend plus aucun son harmonique.

Ce qui caractérise souvent l'emploi de la roue dentée comme rhéotome, c'est la prédominance du son que produisent les chocs successifs sur les sons harmoniques qui proviennent des vibrations imprimées au fil par ces chocs. Ce son est, pour une vitesse moindre de 32 par seconde, une série de coups aigus et métalliques, tellement semblables à ceux qui résultent dans le rhéotome même des chocs de la lame métallique contre les dents de la roue, que toute personne qui les entend pour la première fois, croit que ce sont ceux-ci qui sont transmis à travers les conducteurs ; mais il est facile de s'assurer qu'il n'en est rien, par plus d'un moyen, et en particulier en amortissant les derniers, ce qui n'empêche pas d'entendre aussi bien les premiers. Quand la vitesse devient plus grande, le son qui provient de la succession des chocs dans le fil devient continu, et forme comme un grognement fort plus ou moins aigu, suivant la vitesse de la roue dentée, mais toujours parfaitement identique à celui que fait entendre cette roue. Avec une très-grande vitesse, les deux sons sont semblables au souffle du vent.

Cette expérience fait voir que les chocs que produisent dans un métal soit la transmission directe du courant, soit l'influence de l'hélice dont le courant traverse le fil, proviennent d'un frottement des particules métalliques les unes contre les autres,

parfaitement semblable à celui qui a lieu entre les dents de la roue métallique et la lame métallique élastique contre laquelle elles viennent alternativement éprouver un fort frottement.

Ce bruit est le même, à l'intensité près, dans des fils de longueur et de diamètre différents; de grosses masses de fer de forme quelconque le donnent également. Enfin, ce qu'il y a de curieux, de la limaille de fer très-fine le fait aussi entendre. Pour s'en assurer, on place un peu de limaille dans le fond d'une petite boîte cylindrique, qu'on introduit dans l'intérieur d'une bobine dont l'axe est vertical, en la tenant horizontalement par une tige implantée à son centre. La bobine est entourée du fil de l'hélice qui est traversé par le courant rendu discontinu au moyen de la roue dentée. En enfonçant plus ou moins la limaille de fer dans l'intérieur de l'hélice, on la voit s'agiter tant qu'il n'y a pas plus de 80 interruptions par secondes et en même temps on l'entend rendre un son parfaitement semblable, quoique moins intense, à celui que rend la roue dentée. A 160 interruptions du courant, par seconde, la limaille ne manifeste plus de mouvement; mais elle rend le même son que la roue dentée.

Les poudres fines de fer, de nickel et de cobalt, obtenues par l'action de l'hydrogène sur les oxides de ces métaux, rendent aussi le même son, celle de cobalt un peu moins bien, celle de nickel un peu mieux que celle de fer.

Il faut, pour que le son rendu par la limaille ou la poudre fine soit bien prononcé, qu'elle forme une couche épaisse de 2 à 3 millim. sur le disque qui la porte, et qu'elle soit introduite dans une hélice dont le diamètre ne soit pas trop grand (4 à 5 cent.).

Il résulte de ce qui précède que, pour étudier la série des chocs auxquels donne lieu dans le métal le passage ou l'influence extérieure des courants discontinus, il est préférable de se servir comme rhéotome d'une roue dentée, tandis que, pour obtenir les sons harmoniques qui sont dus au mouvement vibratoire qu'imprime au fil la succession de ces chocs, il vaut

mieux faire usage d'un rhéotome à mercure ou de tout autre au moyen duquel l'interruption du circuit est moins brusque.

§ 7. Modifications apportées aux effets de vibration par une aimantation ou des courants électriques autres que ceux qui produisent le mouvement vibratoire.

Ayant soumis un fil de fer recuit de 1 à 2 millimètres de diamètre, et de la longueur ordinaire, à l'action de l'hélice, je fis passer le courant qui traversait l'hélice à travers le fil de fer même. Aussitôt on entendit un son nouveau, indépendamment des sons ordinaires que rendait le fil ; ce son, beaucoup plus aigu et métallique, était tout à fait analogue à celui qu'aurait rendu une tige d'acier bien trempé qui aurait été frappée extérieurement. Je m'assurai que cet effet ne provenait point d'une diminution d'intensité dans le courant, due à sa transmission à travers le fil de fer ; et dans ce but je le fis passer à travers un fil semblable, mais non placé dans l'intérieur de l'hélice, tout en continuant à le transmettre en même temps à travers le fil de l'hélice. L'effet fut le même que s'il n'y avait pas eu de fil de fer dans le circuit.

Il me paraît probable que ce nouveau son est dû à ce que, d'une part le courant transmis directement et d'autre part l'aimantation tendant à donner aux particules une position différente, il y a entre elles un choc d'une nature particulière, dans ce conflit entre les deux forces à l'action desquelles elles sont soumises en même temps.

Pour mieux étudier le phénomène, je fis passer un courant continu à travers le fil de fer sur lequel agissait le courant discontinu qui traversait l'hélice. Aussitôt un son nouveau très-aigu et métallique, comme celui dont je viens de parler, se fit entendre. Il en fut de même quand je fis agir, sur le fil traversé par le courant discontinu, un courant continu transmis à travers le fil de l'hélice. Mais l'effet fut moins prononcé, parce qu'une partie seulement du fil traversé par le courant discon-

tinu était soumise à l'action permanente de l'hélice, tandis que, dans le cas précédent, toute la partie du fil sur laquelle agissait le courant discontinu de l'hélice était traversée par le courant continu. Le courant continu était moins fort dans les deux cas que le courant discontinu ; il ne produisait sur le fil de fer, quand il le traversait, aucun réchauffement. Un fil de fer qui m'avait déjà beaucoup servi donna tout d'un coup ce même son aigu quand il fut traversé par le courant discontinu, lors même qu'il n'était point soumis à l'action permanente de l'hélice. Je m'aperçus alors qu'il était aimanté ; il avait fini par acquérir cette aimantation probablement par l'effet de l'action simultanée de l'hélice et du courant transmis. Ayant pris un autre fil semblable, mais non aimanté, je n'eus plus le son aigu ; les sons ordinaires seuls se firent entendre.

La presque identité des sons obtenus dans l'un comme dans l'autre cas pouvait faire soupçonner que le passage du courant et l'aimantation impriment aux particules une nouvelle position permanente qui est la même. Mais alors comment expliquer que l'action simultanée et discontinue du courant transmis et de l'hélice font naître un son qui semble résulter d'une opposition dans la direction que ces deux actions tendent à imprimer aux particules ?

Pour savoir à quoi m'en tenir, j'ai fait passer un courant continu à travers un fil de fer recuit qui était traversé par un courant discontinu ; aussitôt ce fil qui rendait les sons harmoniques n'a plus rendu aucun son et n'a fait entendre aucun bruit ; quand j'ai cessé de transmettre le courant continu sans interrompre le discontinu, les sons et les chocs se sont aussitôt fait entendre de nouveau. J'ai ainsi plusieurs fois de suite mis le fil de fer traversé constamment par le courant discontinu dans le circuit d'un courant continu, et je l'en ai alternativement ôté ; on n'entendait plus rien dès qu'il était mis dans le circuit ; les sons reparaissaient dès qu'il en était ôté.

Ainsi le courant continu et l'aimantation permanente n'im-

priment pas aux particules la même position. En effet, si le courant discontinu n'exerce aucune action sur le fil traversé par le courant continu, c'est qu'il trouve les particules déjà disposées, par l'effet de ce dernier courant, comme il tend à les disposer; tandis que, s'il fait rendre au contraire un son de plus (le son métallique aigu) au fil soumis à l'aimantation permanente, c'est qu'il tend à imprimer aux particules un arrangement différent de celui qui résulte pour elles de cette aimantation.

Dans l'expérience qui précède, le courant continu et le courant discontinu allaient dans le même sens dans le fil de fer, et ils y circulaient également bien tous les deux, ainsi qu'il était facile de le constater en voyant la quantité de limaille de fer qu'attirait le fil être plus considérable quand il était traversé par l'un et par l'autre que lorsqu'il n'était traversé que par l'un des deux, surtout par le discontinu.

Pour que le son soit tout à fait nul, il faut un certain rapport entre la force des deux courants et le diamètre du fil. Si le courant discontinu l'emporte, le son n'est pas tout à fait nul, mais énormément affaibli.

Quand les courants vont en sens contraire, une partie seulement des courants traverse le conducteur puisque le circuit, par l'effet de l'arrangement des piles, peut s'établir indépendamment de ce conducteur. Le son est alors seulement affaibli.

J'ai fait l'expérience analogue en me servant de l'action extérieure du courant. Dans ce but, au moyen d'une hélice traversée par un courant continu, j'ai aimanté le fil d'une manière permanente; puis j'ai fait passer un courant discontinu à travers le fil d'une hélice semblable placée à la suite de la première et agissant sur le fil, non sur la même partie, mais sur une partie très-voisine. Le son n'a pas été nul, mais il a été beaucoup plus faible qu'il n'était lorsque l'hélice traversée par le courant discontinu agissait seule, et surtout il a été très-différent. C'était comme le bruit de la limaille de fer ou du sable glissant sur du carton ou mieux encore sur du verre.

Pour faire l'expérience plus complète, j'ai fait agir sur le fil une bobine entourée de deux fils semblables, puis j'ai transmis un courant continu à travers l'un des fils et un discontinu à travers l'autre. Le son est devenu beaucoup plus faible comparativement à ce qu'il était quand le courant discontinu agissait seul ; mais la diminution d'intensité était beaucoup plus grande quand les deux courants cheminaient dans le même sens et tendaient par conséquent à imprimer la même polarité magnétique à chaque extrémité de la partie du fil de fer soumise à leur action, que lorsqu'ils cheminaient en sens contraires. Dans ce cas, le son était un peu moins affaibli, et on entendait un son un peu plus aigu.

On affaiblit et on fait même disparaître complétement le son, en réunissant simplement par un conducteur métallique les deux bouts de celui des fils qui n'est pas traversé par le courant discontinu. Mais cet effet diffère des précédents en ce qu'il tient probablement à ce que le courant d'induction, qui peut alors s'établir dans ce fil, annule l'effet du courant qui traverse l'autre fil. Si, au lieu de transmettre ce courant d'induction à travers un simple conducteur extérieur, on le fait passer à travers le fil d'une seconde hélice placée à côté de la première et agissant sur le même fil, on a un son très-marqué quoique plus faible, que lorsque le courant discontinu agit seul et qu'il ne s'établit point de courant induit ni dans le second fil de la bobine, ni dans le fil de la seconde hélice.

Le son, quant à sa nature, diffère un peu, suivant que les courants induits vont en même temps dans le même sens, ou dans des sens différents, dans le second fil de la première bobine, et dans le fil unique de la seconde ; ce qui dépend de celles des extrémités de ces deux fils, qu'on met en communication deux à deux.

J'ai fait toutes les expériences qui précèdent sur des fils de fer de différents diamètres ; elles m'ont toutes donné le même résultat ; seulement quand le diamètre est considérable, il faut, pour

annuler le son qui résulte du passage du courant discontinu, faire passer à travers le fil un courant continu plus fort. Ajoutons encore que, puisque le son nouveau qui résulte de l'action du courant discontinu sur un fil de fer doux, soumis à l'action permanente de l'hélice, ou de l'action discontinue de l'hélice sur un fil traversé par un courant permanent, est tout à fait semblable à celui que rendrait un fil d'acier bien trempé, la conséquence semble en être que les actions permanentes dont il s'agit, donnent aux particules un arrangement analogue à celui qu'elles ont dans l'acier, et que la trempe leur imprime.

Les résultats que je viens de décrire, constatent d'une manière positive ce que les précédentes expériences semblaient déjà avoir démontré, c'est que le passage d'un courant électrique, aussi bien que l'aimantation, détermine dans le fer un déplacement et un arrangement nouveau des particules, et de plus que cet arrangement est permanent, et qu'il dure tant que dure le passage du courant ou l'aimantation. Elles constatent, en outre, que l'arrangement des particules que détermine le passage du courant n'est point le même que celui que détermine l'aimantation, puisque l'effet de la même cause, par exemple du passage du courant discontinu à travers le fil, ou de ce passage à travers le fil de l'hélice, n'est point le même quand l'arrangement permanent des particules du fer est produit par l'une des actions, et quand il est produit par l'autre.

§ 8. Influence de la température sur les mouvements vibratoires.

Dans le cours de mes expériences, j'avais souvent observé un renflement graduel, produit dans le son pendant les premiers moments que le courant traversait un fil de fer dont j'étudiais les mouvements vibratoires. J'avais également observé que ce renflement n'avait lieu que lorsque le courant électrique transmis était assez puissant pour réchauffer le fil d'une manière notable, sans pourtant le faire rougir. Cette circonstance m'en-

gagea à examiner l'effet d'une forte chaleur appliquée directement aux fils métalliques pendant qu'ils sont soumis, soit à l'action du courant transmis, soit à l'action extérieure de l'hélice.

Dans ce but je disposai au-dessous du fil une petite caisse de métal, de forme rectangulaire, longue et étroite, remplie d'alcool auquel je mis le feu, de manière que le fil en se réchauffant peu à peu arrivât et se maintînt, pendant cinq à dix minutes, à l'état de complète incandescence. Le fil de 1^{mm} de diamètre était tendu par un poids de 1 à 2 kilogr., de manière que, malgré l'allongement qui résultait pour lui de son réchauffement, sa tension pût être constante.

Le son était produit par le courant transmis; on l'entendit augmenter notablement dans les premiers moments du réchauffement; mais lorsque le fil fut devenu rouge-blanc, il diminua singulièrement. Il ressemblait alors au bruit produit par de la limaille de fer ou par des grains de sable qui glissent sur du verre. Il suffisait d'éloigner momentanément la flamme en soufflant, pour qu'aussitôt le son devînt plus intense. Cette intensité allait en augmentant pendant toute la durée du refroidissement, jusqu'au moment où le fil était redevenu à sa température primitive, celle de la chambre; le son lui-même reprenait alors une intensité moindre que celle avec laquelle il venait de se manifester, mais plus grande que celle qu'il avait eue en commençant. Pendant la durée du refroidissement, il y a des moments où le son est semblable à celui que rendraient une multitude de petites cloches sonnant ensemble. Il n'est pas nécessaire de chauffer sur toute sa longueur le fil traversé par le courant; les mêmes effets ont lieu, quoique à un degré un peu moindre, si on en chauffe seulement une certaine étendue.

Il paraît donc qu'une température élevée diminue dans le fil sa capacité à rendre des sons par l'effet du courant transmis, mais que cette capacité s'accroît au contraire, indépendamment de la température absolue, par l'effet d'un réchauffement ou d'un refroidissement un peu prononcés.

On ne peut attribuer cet effet curieux du mouvement de la chaleur dans un fil, au simple éloignement ou au rapprochement des particules, puisque, lorsque cet éloignement ou ce rapprochement a lieu par l'effet d'une simple cause mécanique, on n'aperçoit point d'augmentation d'intensité résultant de l'accroissement de la tension, du moins point d'aussi sensibles que celles qui résultent de l'élévation de la température.

J'ai chauffé de même un fil mis en vibration par l'action du courant transmis à travers l'hélice. On ne peut pas chauffer la partie du fil qui est dans l'intérieur même de l'hélice, mais seulement les portions qui en ressortent d'un côté comme de l'autre. Le son a diminué d'intensité pendant le réchauffement, il est devenu très-faible quand les parties chauffées du fil sont devenues incandescentes. Il a constamment augmenté d'intensité pendant le refroidissement, jusqu'au moment où, la température du fil étant redevenue ce qu'elle était en commençant, il a repris son intensité primitive. Il n'y a pas eu, comme dans le cas précédent, des phases sensibles d'augmentation dans l'intensité du son pendant le réchauffement et le refroidissement.

Cette augmentation dans la facilité que possède le courant transmis à mettre les particules du fer en vibration, augmentation qui résulte du mouvement de la chaleur dans ce métal, m'a fait présumer que cette même cause pourrait accroître aussi l'intensité des vibrations que j'avais constaté être produites chez d'autres métaux par la transmission du courant discontinu. C'est en effet ce qui est arrivé. Un fil de cuivre, un fil d'argentane, un fil de platine de 1 à 2 millimètres de diamètre et de 1 mètre de longueur, ont produit des sons plus sensibles, et dans lesquels on distinguait très-bien les harmoniques, quand on les a réchauffés et refroidis alternativement pendant qu'ils transmettaient le courant électrique. L'action de la chaleur seule ne détermine aucun son perceptible, ni dans ce cas, ni dans les précédents.

Il résulte des recherches contenues dans ce mémoire :

1° Que l'action discontinue du courant électrique dét mine, dans les corps qu'il traverse, une succession de vibrati dont l'intensité est beaucoup plus prononcée dans les corps m gnétiques, et surtout dans les corps tels que le fer dou susceptibles d'acquérir un magnétisme passager.

2° Que les corps magnétiques peuvent également être m en vibration par l'action extérieure d'une hélice, dont le fil traversé par un courant discontinu.

3° Que certaines circonstances, telles que la tension plus moins forte, les divers moyens employés pour rendre le co rant discontinu, l'influence de la chaleur, peuvent rendre p ou moins intenses les vibrations, et par conséquent les sons sont produits par l'un comme par l'autre des deux modes.

4° Que, suivant le degré de la tension et la vitesse avec l quelle les courants discontinus se succèdent, certains sons font entendre de préférence à d'autres, et que ceux qui corr pondent aux subdivisions les plus nombreuses du fil, dispar sent les derniers, à mesure qu'on tend davantage le fil.

5° Que les sons dont il s'agit proviennent des mouvem oscillatoires des particules et des chocs qui ont lieu entre ell par l'effet des deux actions déjà signalées, effet qu'on peut rifier très-bien sur de la limaille fine de fer.

6° Que, dans les corps traversés par un courant électriq continu, ou soumis à une aimantation permanente, les par cules sont disposées différemment de ce qu'elles le sont qua les corps sont à leur état naturel, et que cet état molécul différent est lié avec la plupart des phénomènes que produit transmission du courant électrique, tels que le développeme de la chaleur, l'action chimique, l'induction et les effets ph siologiques.

Avis aux Abonnés de la *Bibl. Univ.* pour 1845.

Ils pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me de la nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à 30 fr. chacune, et les années 1841 à 1844 pour 32 fr. chacune, *non compris les frais de port.*

AVIS.

Les quatre premiers volumes des *Archives de l'Électricité* (années 1841 à 1844) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

SUPPLÉMENT
A LA
BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
DE GENÈVE.

ARCHIVES
DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,
Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

N° 18. (Tome V. — 1845.)

Publié le 3 septembre 1845.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,
AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE
CHEZ B. GLASER,
Rue de la Pélisserie, *n°* 133.

PARIS,
CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,
Rue Dauphine, n. 36.

1845

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraiss tous les deux mois; les six cahiers bimestriels f ment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pa environ, même format et caractère que la Bibl thèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l' née 1845) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Pour Genève et la Suisse, au Bureau de la Bibliothèque Univ selle, chez B. Glaser, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.
Pour Paris et la France, chez Anselin, successeur de Magimel, r Dauphine, n° 36, à Paris.
Pour Turin et le Piémont, chez Bocca, libraire, à Turin.
Pour Milan et le R° Lombard-Vénitien, chez Dumolard, à Milan.
Pour Rome et les Ét. Rom., chez Capobianchi, employé des Postes, à Rom
Pour le reste de l'Italie, chez Piatti, libraire, à Florence.
Pour la Hollande, chez Delachaux, libraire, à Amsterdam.
Pour l'Allemagne et le Nord, chez Michelsen, libraire, à Leipsick.
Pour la Grande-Bretagne, chez Baillière, à Londres.

SUR LES APPLICATIONS DE L'ÉLECTRO-CHIMIE A L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES DE DÉCOMPOSITION ET RECOMPOSITION TERRESTRES, par Mr. Becquerel. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 26 mai 1845.)

On est assez disposé à rapporter à l'électricité la production des phénomènes dont la cause est inconnue ; la physiologie et la géologie donnent, sous ce rapport, un libre essor à l'imagination de ceux qui veulent tout expliquer. Mais si ces personnes voulaient bien se rendre compte de l'action de l'électricité comme force physique et force chimique, elles ne s'égareraient pas.

Le but que je me propose, dans ce mémoire et dans les suivants, est de montrer que, pour appliquer utilement l'action chimique de l'électricité à l'étude de certains phénomènes géologiques, il faut s'appuyer sur des faits et reproduire les phénomènes, marche qui est la plus rationnelle pour arriver à la vérité.

Si l'on se rappelle ce principe général que, partout où il y y a action chimique quelque faible qu'elle soit, il y a toujours un dégagement d'électricité, donnant lieu à des courants électriques, si cette source est en rapport avec des corps conducteurs, et d'où résulte des décompositions et recompositions continuelles, on concevra facilement combien leur mode d'action doit être fécond dans la nature.

Je vais indiquer tout de suite la marche que je me propose de suivre, afin que l'on puisse voir de quelle manière j'envisage les applications de l'électricité à la géologie. Tout le monde sait qu'il s'est opéré à diverses époques, et qu'il s'opère encore de nos jours, mais sur une échelle beaucoup moins étendue, à

la surface et dans l'intérieur du globe, une foule de changements dus à des causes physiques ou chimiques; pendant que ces changements ont eu lieu, il s'est manifesté fréquemment des effets électriques produisant des actions chimiques dont on ne connaissait pas jadis l'origine, et que je me propose d'analyser. Il est donc indispensable de présenter un tableau de ces changements, qui servira en quelque sorte de thème à mes expériences.

L'eau et l'air, voilà les grands agents destructeurs, soit qu'on les envisage sous le point de vue physique ou chimique. L'eau est salée ou douce, et doit exercer par conséquent des effets dépendant des substances qu'elle tient en solution. L'eau salée des mers renferme des chlorures, et particulièrement du chlorure de sodium; celle de certains lacs contient également des chlorures, mais en outre du carbonate de soude et d'autres sels qui produisent des efflorescences dans les grandes chaleurs. Ces eaux, comme en Egypte, réagissant sur les roches contiguës, donnent lieu à des effets qui ont déjà été examinés.

Les eaux douces ont nécessairement une action plus bornée : prises à peu de distance de leur source, leur composition est sensiblement la même; mais à mesure qu'elles s'en écartent, elles sont modifiées; peu à peu, elles laissent déposer les substances qu'elles tenaient en suspension ou en solution, en raison d'une moindre vitesse de l'évaporation ou d'un abaissement de température; puis elles enlèvent au sol sur lequel elles coulent, de nouveaux principes et des matières organiques qui, s'y décomposant, lui fournissent des composés qui s'y dissolvent. Toutes ces substances, les unes dissoutes, les autres déposées sur les bords ou dans les deltas, en réagissant les unes sur les autres, donnent nécessairement lieu à des effets électriques, sources de nouvelles actions chimiques.

Les composés solubles qu'elles renferment le plus habituellement, sont les chlorures alcalins et terreux, qui vont se joindre aux sels que la mer renferme déjà.

L'eau de l'Océan contient par litre en moyenne 36gr,5 de matières salines. Outre les chlorures de sodium et de magnésium qui en font la base, on y trouve quelquefois du chlorure ammonique, des iodures de magnésium et de sodium, et même des bromures. L'eau de la Mer Morte a une composition différente : le chlorure de magnésium y domine, on y trouve des chlorures de sodium, de calcium, de potassium, d'aluminium, de manganèse, et du sulfate de chaux. Ces sels y entrent pour un quart du poids des eaux.

La salure de la mer est attribuée à plusieurs causes : aux eaux thermales, qui y arrivent par une infinité de fentes, à l'eau des fleuves qui s'y déversent, laquelle, à la vérité, ne renferme qu'une petite quantité de sel. Mais, comme cette quantité y reste constamment, au fur et à mesure que la mer perd une partie de ses eaux par l'évaporation, sa salure ne peut qu'augmenter insensiblement ; on conçoit parfaitement que si la quantité d'eau évaporée est plus grande que celle apportée par les fleuves, la salure augmente ; si le contraire a lieu, elle diminue. Dans le premier cas, il arrivera un instant où la nappe d'eau sera entièrement desséchée, et sera remplacée par un banc de sel, qui en se recouvrant peu à peu de détritus de roches, constituera avec le temps un banc de sel gemme.

On ne connaît pas le rapport existant entre les quantités d'eau qui s'évaporent journellement des mers et celles qui y retournent par l'intermédiaire des fleuves, des courants d'eau sous-marins. On sait seulement, d'après un jaugeage des eaux de la Seine, à Paris, que le volume de l'eau qui passe annuellement sous les ponts, n'est guère que le tiers de celui qui tombe en pluie dans le bassin de la Seine. Les deux autres s'évaporent donc ou retournent à la mer par des voies souterraines, ou servent à entretenir la vie animale et végétale.

D'un autre côté, il faut admettre que les couches qui se refroidissent, suivant leur nature, absorbent de l'eau qui est en partie combinée, en partie interposée, ce qui diminue d'autant la quantité de celle qui est libre à la surface du globe.

L'air agit comme force mécanique et comme force chimique ; sec et calme, il est absolument sans action sur les roches; humide, c'est l'inverse. L'eau à l'état de pluie dissout les sels résultant des réactions, et précipite sur la surface de la terre les matières pulvérulentes tenues en suspension dans l'air.

Si nous portons nos regards sur les nombreuses roches qui composent la croûte du globe, nous les trouvons partagées en deux grandes classes : roches cristallisées, d'origine ignée ; roches sédimentaires, d'origine aqueuse.

Les roches cristallisées, qui occupent la partie inférieure de l'écorce du globe, forment le fond des bassins où ont été déposées les roches sédimentaires; elles sont traversées souvent par des fissures ou fentes, remplies postérieurement par des déjections venues de l'intérieur, ou quelquefois par des alluvions. Certaines roches, comme les diorites, présentent des divisions en boules, dues soit à un commencement de décomposition, soit à des centres d'actions qui se sont établis au moment de la solidification, et autour desquels se trouvent les parties le plus intimement combinées. Un mouvement moléculaire, lent et graduel, a donc dû s'établir de la surface au centre, jusqu'à ce que les molécules aient pris un état d'équilibre stable. Pendant ce changement dans l'état d'agrégation, les agents atmosphériques exercent leur action.

Les roches stratifiées, qui n'ont pas été soulevées, se présentent en couches horizontales, légèrement ondulées, changeant de nature quand les eaux qui les déposaient renfermaient de nouveaux éléments. Les eaux étant tranquilles, les substances les plus pesantes, tenues en suspension, ont dû se précipiter les premières, puis celles d'une densité moindre; ainsi de suite. Les substances dissoutes sont venues ensuite. Les couches des grès occupent effectivement le fond des bassins; au-dessus sont les argiles, les calcaires, et, enfin, les parties les plus ténues. Ces dépôts de nature diverse s'effectuant par transitions lentes, le grès a dû passer au calcaire, par des mélanges en différentes

proportions, de même que l'argile a dû entraîner du calcaire en se déposant. Mais comment ont eu lieu ces dépôts de calcaire qui constituent nos terrains stratifiés ? d'où provient cette énorme quantité d'acide carbonique combiné avec la chaux ? le calcaire était-il tenu en dissolution par un excès de cet acide ? Tout ce que nous savons, c'est que, selon que l'action a été plus ou moins lente, on a eu un dépôt cristallin ou amorphe, qui a incrusté les coquilles ou autres corps organisés qui se trouvaient sous les eaux. Les eaux chargées de calcaire, en traversant des lits de sable ou de graviers, en ont cimenté peu à peu les parties qui, réunies, ont fini par former de véritables grès à ciment calcaire, à structure plus ou moins lâche. Les eaux tenant en dissolution de la silice ont produit des grès à ciment siliceux. Lyell cite, dans le *Hertfordshire*, des poudingues qui ont eu une semblable origine. L'adhérence des parties est si grande, qu'il est impossible de les séparer par la percussion sans les briser. Le même géologue attribue à une cause semblable la dureté qu'acquièrent les pierres calcaires qui restent longtemps exposées à l'air, après avoir été tirées de la carrière. Les eaux renfermées dans les cavités, en s'évaporant, y déposent le calcaire qu'elles tenaient en dissolution, et cimentent ainsi toutes les parties. Le fer et la silice, en dissolution dans l'eau, doivent produire des effets semblables à l'égard des substances qu'elles imbibent. On peut, en électro-chimie, reproduire ces phénomènes.

Les dépôts s'opérant au fond des mers, la pression a dû exercer une grande influence sur la cohésion des parties. La température de la terre à la surface n'étant plus aussi élevée, l'atmosphère ne renfermant plus autant de gaz acide carbonique, ni les eaux autant de carbonate de chaux qu'à l'époque où les terrains stratifiés se sont formés, il n'est pas étonnant que les choses ne se passent plus de même aujourd'hui. Si nous examinons les dépôts modernes, nous voyons que les deltas des grands fleuves, comme le Gange, le Mississipi, sont

composés, jusqu'à la profondeur de 10 mètres, de dépôts successifs d'alluvions en couches horizontales, qui ne rappellent en rien les dépôts calcaires ; les cours d'eau qui circulent dans l'intérieur de la terre forment des dépôts semblables, puisqu'il arrive souvent que des eaux qui s'enfouissent troubles, sous la terre, reparaissent limpides à une distance plus ou moins grande. Ces dépôts sont composés de toutes les substances entraînées ou enlevées par elles aux roches et terrains qui se trouvent sur leur passage. Les cavernes à ossements, les fentes remplies de brèches calcaires osseuses, et même quelques filons, ont dû avoir une origine semblable.

On trouve aussi des dépôts de ce genre dans les grands lacs, qui se remplissent de débris de roches arrachés aux montagnes. Le fond, en s'exhaussant continuellement, force les eaux à sortir de leur bassin, qui se trouvent par là soumises à une évaporation plus considérable, qui finit par amener leur dessèchement. L'Auvergne et le Cantal nous offrent des exemples d'anciens lacs ainsi desséchés, qui sont couverts aujourd'hui d'une riche végétation.

La mer agit physiquement et chimiquement. Dans le premier cas, elle enlève les sables et les cailloux d'une côte pour les transporter sur une autre, avec des coquilles et des débris de corps organisés. Les eaux déposent-elles, entre toutes les parties incohérentes, des concrétions calcaires, il en résulte des espèces de grès comme la Guadeloupe nous en offre un exemple. Dans le second, l'eau de la mer réagit, à l'aide des sels qu'elle renferme, sur diverses substances minérales qu'elle baigne, et d'où résultent divers produits, que je ferai connaître dans ce mémoire et dans le suivant.

L'air et l'eau, avons-nous déjà dit, renferment les éléments les plus actifs des réactions chimiques terrestres : l'air en fournissant de l'oxigène et de l'acide carbonique ; l'eau, de l'oxigène quand elle est décomposée, son acide carbonique et les différentes substances qu'elle contient, en même temps qu'elle

dissout les composés solubles. A l'état de vapeur, son action est des plus actives, parce qu'elle mouille toutes les surfaces. Le fer, si répandu dans la nature, est l'élément qui reçoit le premier les effets de l'action combinée de l'air et de l'eau ; en passant à l'état d'hydrate de peroxide, il entraîne la décomposition des substances qui le renferment. Les pyrites se changent en sulfate, ou bien perdent leur soufre en prenant de l'oxigène et de l'eau ; tout en conservant leurs formes, certaines roches se désagrégent complétement. L'eau, en outre, dissout le sel gemme et le gypse, en laissant à la place qu'ils occupaient des cavités plus ou moins vastes. Quand elles tiennent en dissolution différentes substances, il en résulte des effets particuliers, comme ceux qu'a observés Mr. Fournet à Pontgibault, dans le filon du Pré, sur l'action dissolvante des eaux chargées de carbonate alcalin sur le sulfate de baryte.

La décomposition lente et graduelle de certains granites, des basaltes, etc., attire depuis longtemps l'attention des géologues. Cette décomposition a lieu surtout aux points de jonction des formations d'époques différentes. La composition de ces roches entre pour beaucoup dans les productions du phénomène, puisque toutes ne la présentent pas au même degré. On trouve, en effet, des localités où la décomposition est peu avancée, d'autres où elle l'est davantage, d'autres enfin, où elle est complète comme en Bourgogne, dont le sol, dans certaines contrées, est recouvert de sable provenant de la décomposition des granites. Dans les basaltes, les phonolites, la décomposition commence par les pointes, les arêtes, les parties les plus exposées aux influences atmosphériques ; on l'a appelée globulaire, en raison de la forme arrondie que prennent de plus en plus les substances qui y sont exposées. Les obsidiennes, ainsi que le fer spathique, éprouvent une décomposition analogue de la surface au centre, mais sans changer de forme. Mr. Fournet, qui a fait une étude spéciale de ce phénomène sur différentes roches, a suivi les effets de la décomposition depuis la surface

jusqu'aux parties intactes. Ses observations doivent être prises en considération dans l'examen des actions lentes.

Quand les basaltes, les phonolites commencent à se décomposer, elles se parsèment d'une multitude de petites taches grises plus ou moins rapprochées et rayonnantes, ayant un aspect terreux. Les masses se divisent alors suivant trois plans rectangulaires conduisant à la forme cuboïde, puis à la forme sphérique quand les angles s'émoussent; immédiatement après, commence l'exfoliation concentrique. Les granites, qui présentent une division parallélipipédique, ont aussi une tendance à se décomposer sur les arêtes, à la manière des basaltes.

Toutes les roches qui se décomposent ainsi sont celles qui renferment du feldspath à base de potasse ou de soude ; ce composé, en perdant une portion de son silicate alcalin par l'action des eaux chargées de gaz acide carbonique, entraîne la décomposition des roches elles-mêmes.

Il est un autre ordre de phénomènes qu'on n'a pu reproduire encore, et qui intéresse vivement l'électro-chimie en raison des effets de transport qui l'accompagnent ; je veux parler des pétrifications. Les corps organisés, déposés dans les terrains sédimentaires, ne se présentent pas tous dans le même état : tantôt ils ont été décomposés sans laisser aucune trace de leur existence ; tantôt des dépôts, les ayant entourés de toutes parts, les ont préservés de toute altération, ou bien ont contribué à leur pétrification. Il résulte de là que nous retrouvons souvent ces corps dans l'état où ils étaient lors de leur enfouissement, ou bien ayant subi des changements dus aux substances enveloppantes qui se sont souvent substituées en leur lieu et place, de manière à ne laisser aucune trace de la matière organique.

Pour expliquer ces différents effets, on admet que les corps se sont laissé pénétrer par des eaux tenant en dissolution du carbonate de chaux, de la silice et autres composés, puis, qu'ayant éprouvé une décomposition lente dans la terre, leurs

molécules ont été remplacées par des molécules de calcaire, de silice, etc.; quoi qu'il en soit, on n'a pas pu reproduire ce phénomène; l'électro-chimie, jusqu'à un certain point, peut y parvenir.

Tels sont les effets généraux de décomposition qui attirent l'attention des géologues, parce qu'ils frappent tous les yeux; mais il en est d'autres, pour ainsi dire microscopiques, qui, s'ajoutant peu à peu, finissent par devenir sensibles au bout d'un certain laps de temps, et dont on n'a pu rendre raison jusque dans ces derniers temps, parce qu'on ignorait la cause en vertu de laquelle ils sont produits. Cette cause est précisément celle dont l'étude m'occupe depuis vingt ans, et à laquelle je reconnais une origine électrique. Comme je l'ai dit au commencement de ce mémoire, je traiterai successivement, dans les divers phénomènes terrestres que je viens de rappeler, les effets électrochimiques qui ont pu être et peuvent être encore produits, sans chercher à en exagérer l'importance. Dans le premier mémoire je m'occuperai des questions suivantes:

1° De la séparation des éléments des combinaisons dans les décompositions électro-chimiques;

2° De l'emploi du coke comme électrode ou corps décomposant;

3° De l'emploi des courants secondaires dans les phénomènes électro-chimiques;

4° De la propriété dissolvante de la solution saturée de chlorure de sodium, et de la formation d'un certain nombre de composés résultant de cette propriété;

5° Décomposition de la galène et d'un nouveau moyen d'analyser cette substance, et par suite de retirer le plomb à l'état métallique;

6° De la production et de la cristallisation de quelques oxides métalliques, du nitrate *quinque* cuivrique;

7° Des phosphates terreux cristallisés.

Je ne me suis astreint à aucun ordre, par la raison que j'ai

voulu d'abord présenter quelques effets généraux qui puissent fixer les idées sur la marche que je voulais suivre. Un autre motif rend encore difficile de s'en tenir purement et simplement aux phénomènes électro-chimiques, car ces phénomènes se lient tellement à ceux qui ont pour cause unique les affinités, que l'on passe naturellement des premiers à ceux-ci, ce qui semble ôter au travail de son unité; quoi qu'il en soit, on parvient toujours au but que l'on s'était proposé.

CHAPITRE I. — *De la séparation des principes constituants des sels dans les décompositions électro-chimiques.*

Dans les recherches électro-chimiques qui ont pour but la reproduction des composés insolubles, il faut pouvoir faire arriver à volonté un élément dans une solution ou lui en enlever un autre, de manière à obtenir des effets déterminés ; tout le secret de l'électro-chimie est là. Les physiciens qui se sont occupés le plus de l'électricité comme force chimique, ont déjà traité cette question. Plusieurs points même l'ont été complétement ; mais il en est d'autres qui sont encore obscurs, et dont j'ai fait une étude spéciale en raison de la nécessité où je me suis trouvé d'analyser tous les effets résultant de la séparation des éléments des corps, non sous un point de vue théorique, mais dans un but pratique ; aussi les faits généraux que je vais indiquer sont-ils le résultat d'un grand nombre d'expériences.

Toutes les fois qu'une solution saline à base alcaline, terreuse, ou métallique, est soumise à l'action décomposante d'un courant, au moyen de deux lames de platine plongeant dans cette solution, il en résulte des effets connus depuis longtemps, et sur lesquels je ne reviendrai pas ; mais, lorsque les deux lames décomposantes sont plongées chacune dans une solution différente, les deux solutions séparées par un diaphragme humide plus ou moins étendu, ou par un troisième liquide, avec lequel elles ne peuvent se mêler de longtemps, il se présente

des cas où il n'y a pas d'apparence de décomposition. La première condition à remplir est de disposer l'appareil de manière à éviter le mélange des liquides. On y parvient au moyen des dispositions suivantes : On prend un bocal, dans lequel plongent deux tubes de 1 centimètre de diamètre, de plusieurs décimètres de longueur, et remplis inférieurement d'argile humectée d'eau distillée, ou d'une solution saline selon le cas, sur une longueur de 1 décimètre à 1 $^1/_2$ décimètre, afin que les liquides qu'ils sont destinés à recevoir ne passent de longtemps d'un des tubes dans le bocal, et par suite, d'un tube dans l'autre. Le déplacement de ces liquides par infiltration est tellement lent que, dans l'espace de vingt-quatre heures, on n'en aperçoit pas la moindre trace. Enfin, dans chaque tube, on plonge une lame de platine, en rapport avec une pile voltaïque de trente à soixante couples, fortement chargée. Voici les faits que j'ai observés avec cette disposition :

1° Si l'on met une solution saline, concentrée ou non, de sulfate de potasse par exemple, dans le bocal ainsi que dans le tube négatif, dont le kaolin soit humecté de la même solution; puis dans le tube positif, une solution de sulfate de cuivre ou celle d'un métal facilement réductible, le sel métallique ne semble pas décomposé, parce qu'il n'y a point de dépôt de cuivre sur la lame négative; mais rien ne s'oppose à ce que la décomposition s'effectue en sous-sulfate de cuivre et en acide, qui se combinent l'un avec l'autre peu à peu dans la solution même, ne laissant ainsi que difficilement des traces de leur présence. Même résultat avec les sels d'or, d'argent, de cuivre, de plomb, de zinc, etc.; mais il n'en est plus de même quand la dissolution métallique se trouve dans le tube négatif, car il y a aussitôt dépôt de métal sur la lame qui s'y trouve. Dans l'autre tube de l'acide sulfurique devient libre, cet acide ne venant pas du sulfate de cuivre décomposé, mais bien du sulfate de potasse qui se trouve dans le tube positif. Quand il n'y a pas de sulfate de potasse dans ce dernier, l'acide ne manifeste sa présence sur

la lame positive qu'au bout d'un certain temps, à la suite de décompositions et de recompositions successives dont je parlerai dans un instant; l'eau est en même temps décomposée.

Si la solution de sulfate de cuivre est placée dans le bocal intermédiaire, il n'y a pas non plus de décomposition apparente. Ce cas rentre dans celui où le sulfate se trouve dans le tube positif.

2° Si on substitue au sel métallique un sel à base alcaline ou terreuse, la décomposition a toujours lieu, que la dissolution soit placée dans le tube positif ou le tube négatif, quoiqu'il n'y ait pas infiltration de la solution dans l'autre tube. Il paraît donc exister, sous ce rapport, une différence entre les sels à base métallique facilement réductible, et les sels à base alcaline ou terreuse; mais cette différence ne provient probablement que de ce que les premiers peuvent éprouver plusieurs modes de décomposition.

3° Si la solution saline est placée dans le bocal intermédiaire, et que les deux tubes ne contiennent que de l'eau distillée, la décomposition du sel ne paraît pas avoir lieu, parce qu'il n'y a ni acide dans le tube positif, ni alcali dans le pôle négatif; mais au bout d'un certain temps, ces deux éléments commencent à y paraître. Pour prouver que cet effet ne peut être attribué à une infiltration, on enlève des deux tubes les deux liquides acidulé et alcalisé qui s'y trouvaient, et après les avoir lavés à plusieurs reprises avec soin, on y remet de l'eau distillée; après quoi on les replonge dans le bocal contenant la solution saline, mais sans former le circuit; vingt-quatre heures après, l'eau n'accusant pas la réaction propre au sulfate, on doit en conclure qu'il n'y a pas eu d'infiltration. On fait passer ensuite le courant dans l'appareil, et les premiers effets se reproduisent.

Pour expliquer les faits que je viens de rapporter, il faut admettre les principes suivants :

1° Les décompositions électro-chimiques s'opèrent, comme

Mr. Faraday l'a observé, avec des électrodes solides ou liquides. Avec des électrodes liquides, les éléments des composés sont amenés sur les deux surfaces de séparation des liquides : les éléments acides sur la surface située du côté du pôle positif, les éléments alcalins sur l'autre surface.

2° La différence qui existe entre la décomposition électro-chimique des sels à base alcaline ou terreuse, et celle des sels à base métallique, n'est probablement qu'apparente, et ne provient que de la faculté que possèdent les sels métalliques d'éprouver plusieurs modes de décomposition. Les faits qui viennent d'être rapportés tendent donc à prouver que les décompositions électro-chimiques s'opèrent, comme Grotthus l'a avancé, par des décompositions et recompositions successives de molécule à molécule, de telle sorte qu'il n'y a de libre sur l'électrode positive, que l'acide des molécules contiguës, de même qu'il ne se dépose sur l'électrode négative que l'oxide des molécules en contact avec elle. Ainsi, la décomposition électro-chimique n'est donc, pour ainsi dire, que le résultat d'un mouvement moléculaire ; dans le cas où la solution de sulfate de potasse se trouve placée entre deux nappes d'eau distillée, dans lesquelles plongent deux lames de platine, les surfaces de séparation de ces deux nappes d'eau et de la solution servent d'électrodes dans les premiers instants ; puis les couches d'eau contiguës à celles-ci, et successivement jusqu'aux lames de platine, au fur et à mesure que la solution s'infiltre, de sorte que véritablement il n'y a pas de transport des principes acides ou alcalins, mais simplement mise en liberté, aux limites de la solution, des principes appartenant aux molécules extrêmes. Dans les appareils simples, on obtient des effets absolument semblables : la distance entre la solution de sulfate de cuivre et celle de sulfate de potasse, où se trouve le zinc, n'est pas un obstacle ; j'ai pris un bocal contenant une solution de sulfate de potasse et une lame de zinc, dans lequel plongeait un tube de $1^{m},33$ de long, fermé inférieurement avec du kaolin humecté

de la même solution sur une longueur de 1 mètre, et rempli d'une solution de sulfate de cuivre dans laquelle fut placée une lame de platine mise en communication avec le zinc au moyen d'un fil de cuivre. Le cuivre déposé immédiatement sur la lame de platine annonça que la décomposition avait commencé instantanément, bien que les deux corps décomposants fussent très-éloignés l'un de l'autre. Dans ce cas, *l'acide sulfurique du sulfate de cuivre* a-t-il été transporté aussitôt sur le zinc? Non. Voici comment les choses se passent : le zinc, au contact du sulfate de potasse, s'oxide et se combine avec l'acide sulfurique; si le circuit était ouvert, la potasse deviendrait libre; mais, quand il est fermé, elle se combine avec l'acide de la molécule contiguë, lequel se porte vers la première molécule qui le cède au zinc; ainsi de suite jusqu'à la surface de séparation des deux solutions sur laquelle se dépose l'alcali des molécules extrêmes. Le sulfate de cuivre est également décomposé, en vertu d'actions successives. Le cuivre se dépose sur la lame de platine, tandis que l'acide sulfurique passe à la molécule suivante qui vient déposer son cuivre sur la même lame, et ainsi de suite jusqu'à la limite, c'est-à-dire jusqu'à la surface de séparation des deux solutions. Cet acide libre se combine alors avec la potasse qui y arrive en même temps. Ainsi, en réalité, il n'y a pas eu transport de molécules acides et alcalines, mais bien décompositions et recompositions successives comme dans l'action de la pile.

Quand on veut se rendre compte des décompositions électro-chimiques, et voir jusqu'à quel point elles s'opèrent en proportions définies, il est indispensable de reconnaître préalablement la nature des composés secondaires produits sur les lames décomposantes, composés qui sont quelquefois assez complexes pour induire en erreur les expérimentateurs.

J'ai encore une autre observation à faire, qui n'est pas sans intérêt pour les personnes qui s'occupent des applications de l'électro-chimie à la géologie. On connaît, d'après Davy, la

propriété que possède un courant doué d'une certaine énergie de réagir sur les éléments acides et alcalins, faisant partie des vases dans lesquels se trouve le liquide traversé par le courant. Si l'on met, par exemple, de l'eau distillée dans un vase de verre, séparé en deux parties au moyen d'un diaphragme, et qu'on y plonge deux lames de platine en rapport avec les deux pôles d'une forte pile, non-seulement l'eau est décomposée, mais encore le chlorure de sodium que contient le verre. En opérant avec un vase de marbre, on a de la chaux sur la lame négative ; avec un vase de basalte, de la potasse et d'autres bases, etc. Pour expliquer ces résultats, on a dit que le courant avait le pouvoir de vaincre l'affinité des divers éléments des composés insolubles. Aujourd'hui, cette explication ne saurait être admise, attendu que l'on sait parfaitement que la séparation des éléments ne peut s'effectuer qu'autant que le composé est en solution ; or, cette condition ne saurait être remplie qu'autant que l'insolubilité des corps n'est pas aussi absolue qu'on l'admet en chimie. Les moyens manquent effectivement à cette science pour constater dans bien des cas la présence de composés qui ne se trouvent qu'en quantités excessivement minimes dans une solution. Il n'en est pas de même dans l'électro-chimie, qui possède, comme je l'ai fréquemment démontré, des procédés à l'aide desquels on démontre non-seulement qu'il y a action chimique dans des cas où l'on ne pouvait le démontrer auparavant, mais encore qu'il existe dans une solution certains éléments qu'on n'y soupçonnait pas. En n'admettant donc pas l'insolubilité absolue, on conçoit très-bien que, lorsque le courant a exercé son action décomposante sur la substance dissoute en quantités extrêmement minimes, il réagit de nouveau sur les quantités qui remplacent les premières, et ainsi de suite ; de manière qu'au bout d'un certain temps on trouve, sur les lames décomposantes, des quantités appréciables de quelques-uns des principes constituants des vases.

Chapitre II. — *De l'emploi du coke comme électrode négative, et des couples secondaires.*

Le coke bien préparé, étant bon conducteur de l'électricité, est d'une grande utilité en électro-chimie ; mais il est nécessaire d'abord de le traiter à chaud avec l'acide chlorhydrique étendu, pour enlever tout le fer qu'il renferme, puis de le laver à grande eau ; sans cela, les pyrites non décomposées qui y sont contenues donnent lieu, quand le circuit est fermé, et qu'il forme l'électrode négative, à un dégagement de gaz hydrogène sulfuré. Je l'ai employé, en 1837, dans le traitement électro-chimique de quelques centaines de kilogrammes de minerai d'argent. Plusieurs hectolitres de coke ont été soumis ainsi à l'expérience. En raison de sa porosité, ce corps est très-propre à fixer les petits cristaux insolubles qui se détachent facilement des lames de platine sur lesquelles on les dépose ; ces cristaux pénètrent, en effet, dans les pores du coke, et s'enchevêtrent les uns dans les autres de manière à former des masses assez compactes.

Il est à remarquer que la nature des électrodes exerce une influence sur la quantité de métal précipité ; en voici un exemple :

On a formé un appareil simple avec une solution de sel marin où se trouvait une lame de zinc, et une solution de nitrate de cuivre dans laquelle plongeaient une lame de platine et une lame de cuivre ayant les mêmes dimensions, placées parallèlement l'une à l'autre et en communication métallique ; les deux solutions étaient séparées l'une de l'autre avec de l'argile humide, et les lames métalliques mises en communication au moyen de fils de platine.

Poids de la lame de platine . . .	$0^{gr},430$
Poids de la lame de cuivre . . .	0,826

Vingt-quatre heures après, il s'était précipité sur la lame de platine, 0gr,121 ; et sur la lame de cuivre, 0gr,030.

L'expérience ayant été recommencée avec les mêmes lames, on a obtenu dans le même temps :

Cuivre précipité sur la lame de platine.	0gr,112
Idem sur le cuivre	0,089

On voit donc qu'à mesure que la dissolution de cuivre s'affaiblit, la différence entre les quantités de cuivre précipité sur chacune des deux lames diminue, et finit même par devenir insensible. Ces effets doivent être attribués, non à la différence des pouvoirs conducteurs du cuivre et du platine, puisque, si telle était la cause, ils seraient inverses, mais bien à ce que le cuivre éprouve une action chimique, très-faible à la vérité, de la part de la dissolution de nitrate de cuivre, action d'autant plus marquée, que cette dissolution est plus saturée. En vertu de cette action, il se produit un courant électrique secondaire, en sens inverse du premier, dont l'intensité se trouve par là diminuée à l'égard du cuivre, et augmentée relativement au platine. L'existence de ce courant secondaire est mise en évidence si on plonge dans la dissolution cuivreuse une lame de platine et une lame de cuivre, en relation chacune avec l'un des bouts de fil d'un multiplicateur. Il résulte de là que, toutes les fois que l'on doit prendre un métal pour électrode négative, il faut s'assurer préalablement du degré d'action chimique exercé sur lui par la dissolution dans lequel il doit plonger; car, lors même que cette action serait tellement faible qu'elle ne pourrait pas être appréciée en chimie, néanmoins les effets électriques qui en résultent sont de nature à porter une perturbation dans les phénomènes électro-chimiques. J'ajouterai que le courant secondaire, qui va du cuivre au platine dans la dissolution de nitrate de cuivre, si le zinc était supprimé, produirait du sous-nitrate de cuivre, qui cristalliserait, avec le temps, sur le cuivre.

L'expérience suivante va mettre en évidence l'influence d'un couple secondaire dans les actions électro-chimiques.

L'appareil simple dont j'ai fait usage était celui à gaz oxigène ; le bocal renfermait, par conséquent, de l'acide nitrique ; le tube, une solution concentrée de potasse saturée d'oxide de plomb ; le kaolin servant à séparer les deux liquides était humecté d'une solution de chlorure de sodium ; dans l'acide nitrique plongeait une lame de platine ; dans la dissolution alcaline, un couple zinc et platine. La communication était établie entre les parties métalliques avec des fils de platine : le couple secondaire, loin de fonctionner comme pôle positif, et de fournir abondamment de l'oxigène, s'est comporté comme couple actif; ce qui prouve que le courant primitif résultant de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre, n'était pas assez puissant pour enlever au zinc son caractère positif, en raison de l'action chimique exercée sur lui par l'alcali et l'oxide de plomb. Il s'est déposé d'abord du plomb sur la lame de platine, puis sur le zinc, mais en plus grande quantité sur la première que sur le second. Peu à peu l'action réductive du couple secondaire a diminué, et l'action du couple principal a prévalu, c'est-à-dire que la décomposition de l'acide nitrique a fourni assez d'oxigène pour faire passer à l'état de peroxide le plomb tenu en dissolution dans la potasse ; le couple secondaire a exercé alors une telle influence, qu'il s'est déposé seulement de l'hydrate de peroxide sur la lame de platine, et du peroxide anhydre sur la lame de zinc. Cette différence dans le mode d'action des deux lames est remarquable, en ce qu'elle montre que le zinc, en raison de son oxidabilité, aide à la décomposition de l'eau de combinaison, de manière à produire le peroxide anhydre.

CHAPITRE III. — *De la propriété dissolvante de la solution saturée de chlorure de sodium, et de son emploi pour la formation du chlorosulfate, chlorophosphate, chlorotartrate de plomb, et l'analyse de la galène.*

En électro-chimie, pour décomposer et recomposer les corps, il faut un dissolvant qui livre passage au courant. On prend ordinairement pour dissolvant l'eau, dont la faculté conductrice est augmentée considérablement par la présence d'une petite quantité d'acide ou d'une substance saline; mais il ne faut pas s'en tenir à ce dissolvant quand on s'occupe des applications de l'électricité à la chimie, à la géologie et aux sciences physico-chimiques en général, car il en existe bien d'autres que l'on peut utiliser avantageusement. Je mettrai en première ligne l'eau salée proprement dite, attendu que le chlorure de sodium est le sel soluble le plus répandu dans la nature, soit à la surface, soit dans l'intérieur du globe, car on le trouve dans presque toutes les eaux en plus ou moins grande proportion. Je n'ai nullement l'intention de rechercher tous les composés insolubles que l'eau salée, au maximum de saturation, peut dissoudre, mais bien d'indiquer une série de combinaisons ayant même base, qui jouissent de cette propriété, afin de montrer le parti avantageux que l'on peut tirer de ces solutions. Les sels insolubles que j'ai soumis à l'expérience sont ceux à base de plomb, et ayant pour éléments électro-négatifs les acides sulfurique, phosphorique, fluosilicique, oxalique, borique, tartrique, gallique, arsénique et tungstique. Commençons par le sulfate de plomb : 1 litre d'eau saturée de chlorure de sodium, marquant 25 degrés à l'aréomètre de Baumé, dissout environ $0^{gr},66$ de sulfate de plomb; la solution, abandonnée à elle-même, laisse déposer sur les parois du bocal, dans l'espace de quelques jours, de petits cristaux réunis quelquefois en houppes soyeuses, ou se présentant avec des formes que

je n'ai pas encore déterminées. Ces cristaux sont insolubles dans l'eau, ainsi que dans la solution de chlorure de sodium; exposés sur une lame de platine à la flamme d'une lampe à alcool, ils sont décomposés et entrent en fusion; le chlorure de plomb se volatilise. Si on met ces cristaux en digestion avec de l'acide nitrique et une petite feuille d'or battu, il se forme du chlorure d'or; exposés à l'action du chalumeau sur le charbon avec de la soude, puis placés sur une lame d'argent avec un peu d'eau, la lame est noircie; enfin, chauffés fortement dans un tube de verre, il se volatilise du chlorure de plomb avec un peu d'eau. Ces cristaux appartiennent donc à un chlorosulfate hydraté de plomb, dont j'ai déterminé la composition de la manière suivante: $0^{gr},56$ de cette substance chauffée jusqu'à fusion ont été mis dans une capsule de porcelaine avec de l'eau légèrement acidulée par l'acide chlorhydrique et une lame de zinc, pour avoir le plomb à l'état métallique. La réaction eut lieu en très-peu de temps; le plomb, précipité et recueilli, pesait $0^{gr},412$. Les dissolutions avec les eaux de lavage ont été rapprochées par l'ébullition, et l'on a précipité l'acide sulfurique du sulfate de zinc avec le chlorure de barium. On a retiré $0^{gr},150$ de sulfate de baryte, renfermant $0^{gr},052$ d'acide sulfurique, correspondant à $0^{gr},200$ de sulfate de plomb, lesquels renfermaient $0^{gr},139$ de plomb; on en déduit:

Chlorosulfate.	$0^{gr},560$
Sulfate de plomb	0,200
Chlorure de plomb . . .	0,360

Or, $0^{gr},360$ de chlorure de plomb renfermant $0^{gr},270$ de plomb, c'est-à-dire le double de ce que contient le sulfate, il s'ensuit que le chlorosulfate est composé de 1 atome de sulfate et de 2 atomes de chlorure. Quant à la quantité d'eau de cristallisation, je n'ai pu la déterminer exactement, attendu qu'en chauffant fortement la matière dans un tube, elle se fond, et il se volatilise un peu de chlorure de plomb en même temps que

l'eau. Néanmoins, ayant trouvé que les $0^{gr},560$ résultaient de $0^{gr},572$ chauffés jusqu'à fusion, il s'ensuit que $0^{gr},560$ étaient combinés probablement avec $0^{gr},012$; ce qui donnerait, pour la formule du chlorosulfate de plomb,

$$So^{3}\,Pb,\ 2\ Ch\ Pb,\ H^{2}\,O.$$

Cela posé, examinons ce qui doit arriver quand on abandonne à elle-même une solution saturée de chlorure de sodium et de sulfate de plomb. Le chlore étant en excès, quoique combiné avec le sodium, réagit lentement sur le sulfate de plomb, de manière à opérer une double décomposition. Il se forme alors du chlorure de plomb et du sulfate de soude ; le chlorure de plomb se combine avec le sulfate dans les proportions indiquées. La combinaison cristallise en houppes soyeuses ou en cristaux dérivant du système prismatique rectangulaire oblique, suivant la quantité de sulfate de plomb qui se trouve dans la solution ; quand la solution est saturée de sulfate, on n'a que des houppes soyeuses. Ces réactions continuent jusqu'à ce que tout le sulfate de plomb soit disparu.

Le phosphate de plomb étant soluble dans une solution saturée de chlorure de sodium, mais en beaucoup moindre proportion que le sulfate, produit également un chlorophosphate de plomb, qui cristallise en lamelles. La formule de ce composé doit être analogue à celle du chlorosulfate. Le chlorophosphate de plomb de la nature se présente sous la forme de prismes hexaèdres ; Mr. Wöhler a montré qu'il était composé de chlorure plombique et de phosphate plombique, dans des proportions telles, que ce dernier renferme neuf fois autant de plomb que le chlorure ; ainsi, le chlorophosphate que j'ai formé est différent du précédent. Les autres chlorosels de plomb obtenus par le même procédé se présentent sous des formes difficiles à déterminer, en raison de leur petitesse ; il faut en excepter cependant le chlorotartrate, qui est en très-jolis petits cristaux dérivant du système prismatique rectangulaire oblique ; sa

composition est la même probablement que celle du chlorosulfate. On voit donc que la propriété dissolvante d'une solution saturée de chlorure de sodium, à l'égard de presque tous les sels insolubles de plomb, sert à former une série de composés nouveaux cristallisés, tous insolubles.

L'électro-chimie a également un moyen très-simple de préparer le chlorosulfate et le chlorophosphate de plomb, etc.; il suffit pour cela de l'appareil simple, composé d'un tube fermé par en bas avec de l'argile humide, et dans lequel on met une solution saturée de chlorure de sodium et une lame de plomb, et d'un bocal rempli d'une dissolution de sulfate de cuivre ou de phosphate acide de cuivre, dans laquelle plonge une lame de cuivre que l'on met en communication avec la lame de plomb; celle-ci étant attaquée, il en résulte un courant en vertu duquel le sel de cuivre est décomposé; l'oxigène et l'acide sulfurique ou l'acide phosphorique, mis en liberté sur la lame de plomb, produisent du sulfate ou du phosphate de plomb dont la présence, dans la solution de chlorure de sodium, détermine les réactions précédemment indiquées.

Je vais faire connaître maintenant une autre propriété de la solution saturée de chlorure de sodium, dont la connaissance n'est pas sans importance pour l'étude des phénomènes géologiques. Cette propriété est relative à la sulfatation de la galène par les actions combinées du chlorure de sodium et du sulfate de cuivre, sulfatation qui peut s'obtenir également, mais avec un peu plus de temps, avec le sulfate de cuivre seulement: ce qui prouve que l'effet est tout à fait différent de celui qu'on obtient dans la chloruration des minerais d'argent, par les actions combinées du chlorure de sodium et du sulfate de cuivre. Pour bien se rendre compte des effets produits, il faut se rappeler que, lorsque les deux éléments du sulfure de plomb, le soufre et le plomb, s'oxident, il en résulte du sulfate de plomb, puisque le sulfure de plomb a pour formule

$$PbS,$$

le sulfate de plomb

$$SO^3, PbO.$$

D'un autre côté le sulfate de cuivre, qui a pour formule, comme le sulfate de plomb, SO^3, CuO, est soluble, tandis que ce dernier ne l'est pas. Passons aux expériences.

Si l'on met dans un bocal deux quantités à peu près égales de ces deux sels, sulfate de cuivre et sulfure de plomb, avec quatre ou cinq fois leur poids d'eau, il s'opère une réaction telle, dans l'espace d'un certain nombre de jours, que les deux sels sont décomposés complétement, c'est-à-dire que l'on a, d'une part, du sulfate de plomb, et, de l'autre, du sulfure de cuivre. Voici comment on établit les proportions de sulfure de plomb et de sulfate de cuivre, pour que la double décomposition ait lieu.

1° 100 parties atomiques de sulfate de cuivre cristallisé servent à former 120,55 parties de sulfate de plomb;

2° 100 parties de sulfate de cuivre anhydre produisent 190,12 parties de sulfate de plomb, renfermant 129,83 parties de plomb.

Or, 100 parties de sulfate de cuivre cristallisé renferment :

Sulfate anhydre . . .	63,93,
Eau.	36,07;

d'où il suit que 156,42 parties de sulfate de cuivre cristallisé représentent 100 parties de sulfate anhydre.

D'un autre côté, 100 parties de sulfure de plomb contenant 13,45 de soufre, qui correspondent à 40,35 de sulfure de cuivre, et cette quantité de soufre exigeant 19,95 d'oxigène pour se transformer en acide sulfurique, et 100 parties de sulfate de cuivre cristallisé renfermant 32,14 d'acide sulfurique, on en conclut que, pour décomposer 100 parties de galène, il faut un peu plus de 100 parties de sulfate de cuivre cristallisé. Voici les résultats de plusieurs expériences :

J'ai mis dans une capsule de porcelaine du sulfure de plomb en poussière impalpable, avec un excès de sulfate de cuivre en solution dans l'eau, dans les proportions indiquées, et j'ai agité fréquemment le mélange pour renouveler les surfaces de contact; peu à peu le volume de la partie insoluble a augmenté, et au bout de peu de jours il était double; le sulfure a perdu son brillant métallique, il est devenu gris, puis légèrement rougeâtre et en partie pulvérulent; tout annonçait donc sa décomposition. On a lavé le dépôt formé, pour enlever le sulfate de cuivre excédant, et l'on a traité le résidu avec une solution saturée de sel marin pour dissoudre tout le sulfate de plomb formé que l'on a décomposé dans l'appareil électro-chimique. Le plomb obtenu a donné des traces d'argent, lors même que l'on opérait sur de la galène ayant une forte teneur de ce métal.

La décomposition n'est complète qu'autant que le sulfure de plomb est dans un grand état de division ; car, lorsqu'il se trouve en petits cristaux ou en lamelles d'une certaine grosseur, la surface seule est attaquée, et le sulfate de plomb formé qui la recouvre préserve l'intérieur des cristaux ou des lamelles de toute altération.

Si l'on traite le résidu de la galène, qui renferme toujours des matières étrangères, avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, on n'obtient aucune trace de sulfate de cuivre; dès lors, dans la réaction de ce sel sur le sulfure de plomb, il ne se forme point de sous-sulfate de cuivre. De plus, en grillant ce même résidu au-dessous de la température rouge, il se dégage abondamment du gaz acide sulfureux, la matière prend feu, et il se produit du sulfate de cuivre. Le grillage s'effectue avec une grande facilité, en raison du grand état de division du sulfure de cuivre.

Il est bien démontré, par les faits que je viens de rapporter, que deux quantités à peu près égales de sulfate de cuivre et de sulfure de plomb réagissent l'une sur l'autre dans un certain laps de temps, et se décomposent réciproquement. Cette réac-

tion a lieu même sans l'intermédiaire de l'air. Le temps qu'exige cette opération, pour être terminée, dépend de l'état de division du sulfure de plomb et du nombre de fois que l'on a agité le bocal pour renouveler les surfaces.

La chaleur accélère considérablement la double décomposition. Il faut opérer dans un ballon et ajouter de l'eau de temps à autre, pour remplacer celle qui s'évapore.

On accélère aussi beaucoup l'opération en ajoutant une quantité de sel marin à peu près égale en poids à celle du sulfate de cuivre. Dans ce cas, le sulfate de cuivre, en présence du chlorure de sodium, se change en bichlorure de cuivre, avec formation du sulfate de soude. Le bichlorure réagit sur le sulfure de plomb, d'où résulte du chlorure de plomb qui se change en sulfate, aussitôt qu'il est en contact avec le sulfate de soude, et du sulfure de cuivre qui se précipite. D'après ce mode d'action, le chlorure de sodium est sans cesse décomposé et recomposé; il sert donc d'intermédiaire, entre le sulfure de plomb et le sulfate de cuivre, pour opérer la double décomposition.

On conçoit parfaitement l'usage que l'on peut faire de ce mode d'expérimentation. Supposez que l'on veuille connaître la composition d'une galène argentifère ou aurifère, renfermant en outre des substances qui peuvent être attaquées par l'acide nitrique, l'acide chlorhydrique ou le concours de ces deux acides, employés ordinairement pour faire l'analyse de ce minéral; il est bien évident que les métaux précieux seront attaqués ainsi que les autres composés non siliceux, de sorte qu'il ne restera aucune trace de l'état moléculaire dans lequel ils se trouvaient. Il n'en est pas ainsi en traitant le minerai avec l'eau, le chlorure de sodium et le sulfate de cuivre. J'ai soumis ainsi à l'expérience 5 grammes de galène très-riches en argent, du filon de Saint-Santin (Cantal), près d'Aurillac, renfermant de l'or et toutes sortes de gemmes, avec 6 grammes de sulfate de cuivre cristallisé et 50 grammes d'eau; au bout de quinze jours, en

ayant l'attention d'agiter fréquemment le mélange dans la journée, tout le sulfure de plomb était décomposé. Je séparai le sulfate de plomb avec une solution saturée de chlorure de sodium, et le sulfure de cuivre par le lavage. Le résidu était composé de petits fragments de gangue, de pyrites, de petits cristaux de fer titané, de petites topazes, de péridots, de très-petites paillettes et pépites d'or et d'argent, ce dernier n'ayant pas été sensiblement attaqué. On voit, par ce résultat, que le sulfure de plomb à peu près seul avait disparu. On conçoit combien la méthode d'expérimentation que je viens d'exposer est avantageuse quand il s'agit de connaître la constitution physique d'une galène, c'est-à-dire l'état dans lequel se trouvent les substances métalliques ou autres qui sont attaquées par les acides dans les analyses ordinaires.

Voici les résultats que j'ai obtenus dans deux opérations, en employant le sel marin concurremment avec le sulfate de cuivre.

On a mis dans un bocal 300 grammes d'une solution saturée de sulfate de cuivre, 5 grammes de chlorure de sodium et 25 grammes de schlik lavé de la galène de Saint-Santin; on a remué fréquemment pendant seize jours, après quoi on a décanté, puis traité avec la solution saturée de chlorure de sodium pour enlever le sulfate de plomb formé. La solution obtenue, traitée dans l'appareil électro-chimique, a fourni 14 grammes de plomb en éponge, qui à la fonte n'a donné que 10 grammes de plomb, renfermant $0^{gr},011$ d'argent, parce qu'il y a eu perte de plomb. Le résidu, qui renfermait le sulfure de cuivre, pesait 18 grammes, charbon du filtre compris.

Les 18 grammes de résidu ont donné à l'essai un bouton de retour pesant $0^{gr},077$. 100 grammes de minerai auraient donc laissé dans les résidus $0^{gr},308$ d'argent. Or, si l'on eût traité 100 grammes de ce minerai, on aurait eu :

Plomb en éponge		56 grammes.
Plomb fondu		40 id.
Argent du plomb . . .	$0^{gr},044$	$0^{gr},352$
Argent des résidus . . .	0,308	

La présence du sel marin dans la dissolution est donc cause que le septième de l'argent contenu dans la galène a été chloruré. Il est facile de concevoir pour quel motif la chloruration n'a pas été complète. L'argent se trouvant dans le minerai à l'état de paillettes, ou de très-petites pépites, n'a été attaqué que superficiellement, de sorte que la couche de chlorure d'argent déposé a préservé l'intérieur de toute altération.

Autre expérience. — On a mis dans une capsule 25 grammes de schlik lavé de Saint-Santin, 25 grammes de sulfate de cuivre et une certaine quantité d'eau, sans chlorure de sodium. On a agité fréquemment le mélange. Treize jours après, on a lavé, puis traité avec la solution saturée de chlorure de sodium, pour enlever le sulfate de plomb. Le résidu pesait, après épuisement, 15gr,4. La solution de sulfate de plomb a donné 13 grammes de plomb fondu renfermant 0gr,002, c'est-à-dire que le plomb avait une teneur de 0,0002; le résidu a donné à l'essai 0gr,065. 100 grammes de ce schlik renfermaient donc, plomb fondu (il y a toujours perte dans la fonte), 40 grammes.

Argent contenu dans le plomb.	0gr,008	0gr,268
Argent des résidus	0,260	

La teneur du schlik était donc en argent de 0,0027. Ces résultats prouvent que, sans employer le chlorure de sodium pour opérer la décomposition de la galène, on enlève le $^1/_{33}$ de l'argent qui se trouvait probablement dans la galène à l'état de sulfure.

Les résultats que je viens de rapporter mettent bien en évidence les avantages que l'on peut retirer de la sulfatation de la galène, pour en faire l'analyse sans l'emploi de la chaleur ou des acides, en même temps qu'ils démontrent la puissante réaction exercée par le sulfate de cuivre sur le sulfure de plomb, réaction qui n'a pas lieu sensiblement en substituant le protosulfate ou le persulfate de fer au sulfate de cuivre.

Si, au lieu d'agir sur du sulfure de plomb pulvérisé, on

prend des cristaux d'une certaine grosseur, peu à peu leur surface s'irise, signe certain d'un commencement de décomposition ; il se forme peu à peu du sulfate de plomb et du sulfure de cuivre, à l'état pulvérulent ; en agitant le vase on détache la poussière.

L'électro-chimie possède un autre moyen d'oxider les deux éléments du sulfure de plomb, lequel consiste à placer le sulfure dans le tube de l'appareil à oxigène, composé d'abord de ce tube fermé par en bas avec de l'argile humide et rempli d'une solution de potasse caustique, puis d'un bocal contenant de l'acide nitrique dans lequel plonge une lame de platine que l'on met en communication, au moyen d'un fil de platine, avec le sulfure ; ce dernier, étant conducteur de l'électricité, devient l'électrode positive, et par conséquent le centre du dégagement d'oxigène ; il y a formation de sulfate de plomb, peroxidation du plomb et, par suite, décomposition de ce sel, d'où résulte du sulfate de potasse qu'on retrouve dans la solution alcaline et dépôt d'hydrate jaune de peroxide de plomb.

Je ferai observer, relativement à la formation de cet hydrate, que les expériences qui ont été faites dans le but de prouver qu'il était un mélange de peroxide et de deutoxide de plomb, ne sont pas de nature à changer en rien les conséquences que j'ai tirées des miennes, quand j'ai publié l'analyse de ce composé. Jamais on ne pourra faire croire qu'un produit qu'on obtient toujours homogène dans sa couleur et dans sa composition, est un mélange, en diverses proportions, des deux oxides de plomb; ce composé se déshydratant superficiellement en se desséchant, c'est là, sans doute, la cause qui a induit en erreur. En terminant ce qui concerne la sulfatation de la galène, je dois faire remarquer que si, dans un gîte de ce minerai, il se trouve des pyrites cuivreuses en décomposition, comme cela a lieu fréquemment, la solution de sulfate de cuivre qui en résulte doit réagir sur la galène, comme dans les expériences précédentes ; alors, suivant que la décomposition aura été plus

ou moins rapide, il en sera résulté du sulfate de plomb et du sulfure de cuivre en poussière, en concrétions ou en cristaux. En admettant encore que la galène soit en contact avec une substance conductrice de l'électricité, et non attaquable par la solution de sulfate de cuivre, comme le persulfure de fer, la galène sera encore plus fortement attaquée que si elle n'eût pas été l'élément électro-positif d'un couple voltaïque. Ce sont là des conséquences rigoureuses de faits bien prouvés, et non des déductions d'idées théoriques sur l'intervention de l'électricité dans les phénomènes géologiques.

Chapitre IV. — *Production et cristallisation de quelques oxides métalliques.*

Les oxides métalliques, selon qu'ils sont combinés avec des acides ou des alcalis, éprouvent une action différente de la part de l'électricité en mouvement. Dans le premier cas, l'oxide, suivant sa nature, est réduit ou reste à l'état d'oxide; dans le second, l'oxide, jouant le rôle d'élément électro-négatif, se dépose sur l'électrode positive, soit à l'état anhydre, soit à l'état hydraté, soit à un état supérieur d'oxidation, comme le fer, le plomb et l'argent en sont des exemples. Pour obtenir les oxides cristallisés, il faut opérer évidemment avec des dissolutions alcalines quand ces dissolutions sont capables de les dissoudre; lorsque cela n'est pas possible, on suit le procédé que j'ai anciennement décrit. Le mode d'expérimentation le plus facile consiste à placer dans le bocal de l'appareil simple un sel oxacide, dont la base soit facilement réductible, tel que le nitrate de cuivre, et dans le tube une dissolution de potasse ou de soude, marquant 20 degrés environ à l'aréomètre; à plonger dans la première une lame de cuivre, dans la seconde, une lame du métal dont on veut avoir l'oxide. On peut employer encore l'appareil à gaz oxigène, dans lequel l'acide nitrique est substitué au nitrate de cuivre; l'oxigène, transporté sur la lame

de métal, oxide ce métal; l'oxide se dissout dans la potasse, et quand celle-ci est saturée, la cristallisation commence; mais plusieurs conditions sont nécessaires pour que le dernier phénomène se produise convenablement. Il est nécessaire que la densité de la solution alcaline ait un degré convenable, et qu'elle tienne, en outre, en dissolution de la silice ou de l'alumine. Le procédé suivant est encore préférable. Opérons avec le zinc : on prend une dissolution de silice dans la potasse marquant environ 20 à 25 degrés, dans laquelle on plonge une lame de zinc amalgamé entourée d'un fil de cuivre, constituant ainsi un couple voltaïque. L'eau est immédiatement décomposée, avec dégagement abondant de gaz hydrogène, après un certain nombre de jours, qui dépend du volume de la dissolution; le zinc se recouvre, ainsi que les parois du bocal, d'une grande quantité de jolis petits octaèdres réguliers très-limpides, et jouissant probablement d'un grand pouvoir dispersif. J'en ai obtenu qui ont 1 millimètre de côté. Ces cristaux sont composés de 18 parties d'eau et de 82 d'oxide de zinc; l'eau renferme donc autant d'oxigène que l'oxide anhydre ; ils ont donc pour formule ZnO, H^2O. Leur dureté est assez grande pour rayer le verre; il suffit, pour le prouver, de placer un certain nombre de ces petits cristaux entre deux verres de montre, que l'on presse très-fortement l'un contre l'autre avec frottement. Cette dureté est d'autant plus remarquable, que l'on ne connaît pas d'hydrate préparé par les moyens ordinaires de la chimie, qui la possède à un degré aussi marqué. On se rend compte ainsi des effets produits; le zinc, en raison de son contact avec le cuivre, devient assez positif pour décomposer l'eau avec dégagement abondant de gaz hydrogène. Peu à peu la dissolution potassique se sature d'oxide de zinc : aussitôt que la saturation est effectuée, la cristallisation commence ; l'action électro-chimique intervient, dans cette circonstance, pour activer l'action de l'eau sur le zinc ; cette action est tellement vive, que le dégagement de gaz continue sans diminution sensible jusqu'à ce

que tout le zinc ait disparu. Sa surface, comme on le conçoit très-bien, ne pouvant se polariser, la décomposition doit marcher d'une manière uniforme. Cette disposition est la même que celle que j'ai adoptée dans ma pile à courant constant.

J'ai dit qu'il fallait opérer avec une solution de silice dans la potasse, et que cette solution marquât de 20 à 25 degrés à l'aréomètre. En effet, si l'on prend une solution potassique ayant la même densité saturée ou non préalablement d'oxide de zinc, mais sans silice, le couple zinc et cuivre décompose encore abondamment l'eau; mais l'oxide de zinc se précipite au fond du verre sans apparence de cristallisation. La silice paraît agir, dans cette circonstance, pour faire prendre aux molécules d'oxide de zinc un groupement régulier. Son mode d'action est purement physique. On arrive au même résultat avec une solution potassique d'alumine, si ce n'est que la cristallisation n'est pas aussi nette.

Voilà ce qui se passe quand la solution marque de 20 à 25 degrés à l'aréomètre; mais si l'on dépasse le terme, et que l'on opère avec des solutions de 30, 35, 40, 45 degrés, on n'obtient jamais de cristaux, du moins dans les limites de temps où ils se sont produits avec l'autre solution. Il se passe alors un phénomène qui mérite d'être signalé : aussitôt qu'une certaine quantité d'oxide de zinc a été dissoute, il se précipite du zinc sur le cuivre. Or, comment peut-il se faire que le courant résultant de l'oxidation de zinc ait une intensité suffisante pour décomposer l'oxide de zinc même? Jusqu'ici un sel métallique n'a été décomposé, avec réduction de son oxide dans l'appareil simple, qu'en employant un courant électrique produit par l'oxidation d'un métal plus oxidable que celui qui est en combinaison. Les bases manquant pour donner une explication satisfaisante de ce fait, je préfère m'abstenir de chercher à en rendre compte, dans la crainte de donner une explication qui ne serait pas complétement satisfaisante.

L'oxide de plomb hydraté peut être obtenu également cri-

stallisé, non en mettant dans la solution potassique de silice un couple plomb et cuivre, mais en se servant de l'appareil à gaz oxigène, comme on l'a vu précédemment.

Si l'on abandonne aux actions spontanées une solution de protoxide d'étain dans laquelle on a mis un couple étain et cuivre, l'étain s'oxide peu à peu, et, au bout d'un certain temps, les parois du bocal se recouvrent, comme dans l'expérience avec le zinc, de cristaux de protoxide d'étain. Ces cristaux sont encore trop petits pour que j'aie pu les déterminer. Je signale seulement ici leur production.

Je n'ai pas poussé plus loin mes recherches sur la production des hydrates métalliques ; mon but était de faire connaître le principe à l'aide duquel on parvient à produire ceux qui sont solubles dans la potasse.

Nitrate quinque cuivrique cristallisé $Az^2O^5, 5\,CuO + 5\,H^2O$.

On produit ordinairement ce composé à l'état de poudre insoluble d'un vert clair, en enlevant une partie de l'acide du sel neutre au moyen d'une chaleur modérée, ou bien en le mêlant avec un alcali caustique, de manière à ne pas le décomposer entièrement, ou en faisant bouillir sa dissolution avec du cuivre métallique.

En électro-chimie, on obtient ce sel en jolis cristaux d'un vert émeraude, en opérant avec l'appareil en U, dans une des branches duquel se trouve une lame de zinc et de l'eau salée, et dans l'autre une solution concentrée de nitrate de cuivre. On donne une grande longueur au tampon d'argile qui sépare les deux liquides, afin de diminuer la conductibilité du circuit, et qu'il ne se forme sur la lame de cuivre ni cuivre ni protoxide, mais bien le sous-nitrate. Les ouvertures sont fermées imparfaitement, pour qu'il y ait une faible évaporation. Quand l'appareil a fonctionné pendant plusieurs années, la lame de cuivre est recouverte de cristaux verts formant des lames rec-

tangulaires de nitrate, de la formule

$$Az^2O^5, 5CuO + 5H^2O,$$

dont la formation est due à l'action décomposante d'un très-faible courant qui enlève au nitrate Az^2O^5, CuO une quantité d'oxigène telle, qu'il reste du nitrate quinque cuivrique. Il faut, pour cela, que les 5 parties d'oxigène enlevées soient remplacées par 5 parties d'eau de combinaison. On obtient presque toujours ce produit cristallisé dans la branche de l'appareil en U, où se trouvent le nitrate de cuivre et une lame de cuivre, et dont l'autre renferme une solution d'iodure, de chlorure alcalin et une lame de cuivre; il est indispensable, néanmoins, que l'opération dure très-longtemps, afin que l'argile intermédiaire, étant à peu près desséchée, ne livre passage qu'à un très-faible courant.

Chapitre V. — *Des phosphates terreux cristallisés, et en particulier du phosphate de chaux.*

Des diverses combinaisons de l'acide phosphorique avec la chaux, il ne sera question ici, du moins dans ce moment, que du phosphate neutre cristallisé, le seul que l'électro-chimie soit parvenue jusqu'ici à obtenir cristallisé.

On prépare ordinairement ce composé en versant, goutte à goutte, une solution de phosphate sodique dans une solution de chlorure calcique; il se produit alors un précipité demi-cristallin qui, vu au microscope, se présente sous la forme de petits fils terminés, aux extrémités, par plusieurs autres fils très-fins. Après la dessiccation, il se change en une poudre pulvérulente. Ce composé a pour formule

$$P^2O^5, CaO, 4H^2O.$$

Si on laisse prédominer au contraire le phosphate de soude, c'est-à-dire que l'on verse, goutte à goutte, le chlorure de

calcium dans une solution de phosphate de soude, on a le phosphate des os.

En électro-chimie on obtient facilement, de la manière suivante, ce composé en jolis cristaux parfaitement caractérisés, et inaltérables à l'air. On prend à cet effet un bocal à moitié rempli d'une solution saturée de chlorure de calcium dans laquelle on plonge une lame de zinc et un tube fermé inférieurement avec du kaolin humecté de la même solution, et contenant une solution de phosphate de chaux dans l'acide phosphorique très-étendu. On ferme le circuit avec une lame de platine plongeant dans la solution acide et communiquant avec la lame de zinc au moyen d'un fil de platine. La décomposition du chlorure de calcium commence aussitôt, en même temps que celle de l'eau ; la chaux est transportée dans le tube où elle sature peu à peu l'excès d'acide, et le phosphate de chaux, qui n'est plus tenu en dissolution par cet excès d'acide, cristallise peu à peu sur la lame de platine, en prismes rectangulaires obliques à sommets dièdres. Les prismes sont quelquefois tellement aplatis, qu'ils ont l'aspect de lames rectangulaires terminées en biseaux. Voici comment j'en ai déterminé la composition :

J'ai pris $0^{gr},05$ de cristaux, dont j'ai porté la température au rouge pour en chasser l'eau de cristallisation ; leur poids a été réduit alors à $0^{gr},039$; il y avait donc $0^{gr},011$ d'eau. Les $0^{gr},039$ de phosphate anhydre ont été dissous dans de l'eau aiguisée avec de l'acide chlorhydrique, puis on y a ajouté de l'alcool, et l'on a précipité la chaux par l'acide sulfurique. Le sulfate de chaux a été lavé avec de l'alcool, puis calciné ; on a obtenu ainsi

Acide phosphorique . . .	0,024
Chaux	0,013
Eau	0,011
	0,048

Composition atomique.

Acide phosphorique.	24	1 atome d'acide.	25,5
Chaux.	13	1 atome de base.	13,5
Eau.	11	4 atomes d'eau..	12,40

Cette composition est celle du phosphate neutre de chaux qui a pour formule

$$P^2O^5, CaO, 4H^2O.$$

On peut préparer en grand ce produit en substituant au tube un cylindre de verre, et à la lame de platine un morceau de coke, dont la surface et toutes les anfractuosités se recouvrent de cristaux qui lui donnent l'aspect d'un minéral.

Passons à la formation de ce composé dans la nature. Il existe, comme on le sait, en dissolution dans plusieurs eaux minérales par l'intermédiaire de l'acide carbonique. Pour connaître en vertu de quelles réactions il peut être produit, j'ai placé dans un flacon d'une capacité d'environ 20 centimètres cubes, une solution saturée de phosphate de soude, et un morceau de chaux sulfatée (gypse) anhydre. Deux ans après, ce dernier ne présentait qu'une très-légère apparence de décomposition ; mais peu à peu il s'est manifesté des points brillants, et, au bout de onze ans, la surface était recouverte de cristaux de phosphate neutre, absolument semblables à ceux qu'on obtient par le procédé électro-chimique, sous le rapport de la forme et de la composition. Cette formation est évidemment le résultat d'une double décomposition opérée très-lentement et qui, n'ayant pas été troublée, a dû être suivie d'une cristallisation. Rien ne s'oppose à ce que, dans la nature, de semblables réactions se produisent, et que le phosphate de chaux, qui est en dissolution dans certaines eaux minérales, ait une semblable origine.

D'après le fait que je viens de rapporter, il est impossible que le phosphate de soude et le sulfate de chaux, dans la terre, en

présence de l'eau, ne réagissent l'un sur l'autre par voie de double décomposition, de manière à produire du sulfate de soude et du phosphate neutre de chaux qui reste en solution dans l'eau à la faveur de l'acide carbonique. La double décomposition résulte du faible pouvoir dissolvant exercé par l'eau sur le sulfate de chaux.

L'expérience suivante va mettre en évidence l'influence de l'électricité sur la formation du phosphate de chaux, dans les circonstances où j'ai opéré. Quand on dissout le phosphate dans un acide et qu'on verse dans la dissolution un excès d'ammoniaque, on obtient du sous-phosphate calcique des os. Rien de semblable n'a lieu en substituant, dans l'appareil précédemment décrit, du chlorure ammonique au chlorure calcique, afin de faire arriver, dans la dissolution de phosphate, de l'ammoniaque au lieu de chaux; car on obtient toujours cristallisé le phosphate neutre. Dans ce cas-ci, comme dans le précédent, outre l'intervention de la chaux et de l'ammoniaque pour saturer l'excès d'acide, le courant réagit encore sur le phosphate acide pour le décomposer électro-chimiquement; l'acide se rend sur le zinc, et le phosphate sur la lame de platine, où il cristallise.

Je n'ai encore cherché à produire que le phosphate de chaux; mais il est probable que les phosphates de baryte, de strontiane, de magnésie, d'alumine, de glucine, etc., etc., qui sont solubles comme le phosphate de chaux dans un excès d'acide, peuvent être obtenus cristallisés, en suivant le même mode d'expérimentation, pourvu toutefois que l'intensité de l'action électro-chimique soit suffisamment modérée pour que les molécules puissent se grouper régulièrement, condition sans laquelle il n'y aurait qu'une formation tumultueuse.

Les faits consignés dans ce mémoire, ainsi que les conséquences que j'en ai tirées, relativement à la production de certains phénomènes géologiques, conséquences que l'on ne doit pas considérer comme de simples déductions théoriques, dé-

montrent de nouveau toute la fécondité des actions électro-chimiques, dont les résultats nombreux se groupent de jour en jour autour de la grande découverte de Volta, pour augmenter le domaine de la chimie, puisqu'elles conduisent à la découverte de faits dépendant uniquement des affinités. Mais si la chimie, pendant longtemps, a eu pour son plus puissant auxiliaire la chaleur, elle pourra considérer probablement aussi l'électricité comme devant contribuer puissamment à ses progrès futurs, quand ceux qui la cultivent avec le plus de distinction mettront eux-mêmes à profit l'influence qu'exerce l'agent ou le fluide électrique sur tous les phénomènes où les affinités sont en jeu, pour donner une nouvelle énergie à ces phénomènes, en provoquer de nouveaux, et arriver à effectuer les grandes opérations de la chimie sans l'emploi d'un combustible.

ÉTUDES DE PHOTOMÉTRIE ÉLECTRIQUE, par Mr. A. MASSON. (*Annales de Chimie et de Physique*, t. XIV, juin 1845.)

(Extrait.)

Mr. Masson vient de publier en entier le mémoire de photométrie électrique dont il n'avait fait encore connaître qu'un extrait que nous avions inséré dans le n° 15, t. IV, p. 479 des *Archives de l'Electricité*. Nous nous bornons aujourd'hui à reproduire le résumé que Mr. Masson donne lui-même de ses intéressantes recherches, en l'accompagnant de ceux des fragments de son travail, qui sont le plus nécessaires pour qu'on puisse s'en former une idée exacte.—Voici d'abord le résumé :

« En déterminant l'intensité de la lumière électrique pro-

duite par des décharges de batterie, nous avons trouvé qu'elle dépend des éléments suivants :

1° La distance d'explosion;

2° La surface des condensateurs ;

3° L'épaisseur des condensateurs ;

4° La nature et par conséquent la puissance condensante des condensateurs ;

5° La conductibilité du circuit ;

6° La nature des milieux où l'explosion est produite ;

7° La nature des pôles de l'étincelle.

« En examinant l'influence exercée sur l'intensité de l'étincelle par quelques-uns de ces éléments, nous sommes arrivé aux lois suivantes qui nous paraissent suffisamment établies.

Première loi. — *L'intensité de la lumière électrique varie en raison inverse du carré des distances de cette lumière aux surfaces éclairées.*

Deuxième loi. — *L'intensité de l'étincelle varie proportionnellement aux surfaces des condensateurs et en raison inverse de leurs épaisseurs.*

Troisième loi. — *L'intensité de la lumière électrique croît proportionnellement aux carrés des distances d'explosion.*

« Toutes ces lois sont comprises dans la formule suivante :

$$(1) \qquad I = H\frac{X^2 s}{Y^2 e},$$

dans laquelle I représente l'intensité de la lumière électrique;

H un coefficient constant qui dépend des éléments que nous n'avons pas encore étudiés ;

X la distance d'explosion ;

s la surface des condensateurs ;

Y la distance de l'étincelle au photomètre ;

e l'épaisseur du condensateur.

« Les lois de la photométrie électrique sont indépendantes de la nature des pôles de l'étincelle.

« Les métaux entre lesquels a lieu l'explosion changent les valeurs absolues des intensités lumineuses, mais non leurs rapports.

« Les intensités de la lumière électrique sont d'autant plus grandes, toutes circonstances égales, que les métaux sont moins tenaces, et par conséquent plus facilement transportables par le courant. »

Il est important de connaître la manière de procéder de l'auteur et les appareils dont il a fait usage. Nous citons textuellement les détails qu'il donne à cet égard.

Description d'un nouveau photomètre.

« L'instrument que nous appellerons photomètre électrique a été construit d'après le principe suivant. Un disque de papier sur lequel on a tracé des secteurs noirs et blancs d'égale dimension, se mouvant avec une rapidité suffisante, paraît d'une teinte uniforme et grisâtre, si on l'éclaire avec une lumière blanche permanente. Ce phénomène bien connu est dû à la persistance de la sensation. Lorsqu'au lieu d'une lumière fixe, on emploie une lumière instantanée pour éclairer les secteurs, on aperçoit le disque comme s'il était fixe, les secteurs n'ayant pu se déplacer sensiblement pendant la durée de la lumière. L'œil apercevant dans ce cas, et avec une grande netteté, tous les détails du disque, nous acquérons déjà une notion sur son extrême sensibilité, et sur la rapidité avec laquelle s'exerce la perception des objets et se forme notre jugement sur leur nature. Si le disque éclairé par une lumière permanente est subitement illuminé par une lumière instantanée, une étincelle électrique par exemple, on verra, pour une intensité convenable de cette dernière, apparaître les secteurs. Si l'on affaiblit successivement la lumière instantanée, il arrivera une époque où les secteurs disparaîtront, et le disque paraîtra éclairé d'une teinte uniforme. Dans ce cas, la lumière instantanée est une

fraction de la lumière permanente, variable avec l'œil de l'opérateur, mais invariable pour un même œil, les circonstances de vision restant les mêmes. En effet, à cause de la persistance de la sensation, la place qu'occupe un secteur noir, ne réfléchissant pas la lumière de l'étincelle, a conservé l'éclairement primitif du fond; celle qu'occupe un secteur blanc renvoie à l'œil autant de lumière que la première, plus la lumière due à l'étincelle. Quand l'intensité de cette dernière représentera la limite de sensibilité de l'œil de l'observateur, le disque paraîtra uniformément éclairé. Le rapport entre les intensités des éclairements des secteurs noirs et blancs, au moment où l'on cesse de les distinguer, peut, comme nous le verrons plus loin, varier de $^1/_{50}$ à $^1/_{120}$, suivant la sensibilité de l'œil de l'observateur. Quant au rapport entre l'intensité de la lumière de l'étincelle et celle de la lumière fixe, il dépendra des dimensions des secteurs noirs et blancs.

« Le photomètre électrique se compose des parties suivantes que nous examinerons successivement :

« 1° Une machine électrique; 2° des condensateurs; 3° un micromètre destiné à mesurer les distances d'explosion de l'étincelle électrique; 4° le photomètre; 5° des conducteurs d'une forme et d'une nature particulières; 6° enfin l'appareil destiné à renfermer les lumières permanentes.

« La *pl. II* (à la fin du cahier) renferme le dessin et la disposition de toutes les pièces rapportées à une échelle indiquée dans les figures.

« Si les secteurs sont égaux, et c'est le cas de ces expériences, le rapport entre la lumière instantanée et la lumière fixe sera la moitié du rapport trouvé par expérience. En effet, supposons que la sensibilité de l'œil soit $^1/_{60}$; quand les secteurs disparaissent, le rapport entre la lumière électrique et celle qui est envoyée par le disque sera $^1/_{60}$; par conséquent la lumière électrique ne sera que $^1/_{120}$ de l'éclairement que produirait la lumière fixe sur un disque parfaitement blanc, puisque le disque en mouvement ne

nous envoie que la moitié de la lumière qu'il réfléchirait s'il était en repos et parfaitement blanc. L'intensité de la lumière électrique donnée par expérience ne serait que $^1/_{180}$ de la lumière fixe, si la surface noire était les deux tiers de la surface blanche.

« *Machine électrique.* — Comme appareil électrique, j'emploie une machine *AA*, *fig.* 1 et 2, *pl. II*, placée dans une chambre distincte de celle qui contient le photomètre proprement dit. Cette machine est composée de deux conducteurs réunis entre eux par une traverse horizontale *CC*, portant une tige *CD*. La traverse *CC* est mobile autour d'un axe horizontal, et la pièce *CD* peut être allongée ou raccourcie, afin d'isoler la machine électrique du condensateur. Il y a nécessité absolue d'éloigner convenablement du condensateur la boule *D*. Sans cette précaution, la machine, qui ferait alors partie de la surface supérieure du condensateur, n'étant pas toujours également chargée au moment de l'explosion, rendrait variable la lumière de l'étincelle.

« Malgré tous les travaux dont les machines électriques ont été le sujet, je crois rendre service aux professeurs de physique en leur indiquant les précautions à prendre pour obtenir de ces instruments un service régulier et constant dont j'ai senti le besoin dans des recherches longues et pénibles.

« L'expérience ayant montré qu'on développe de très-grandes quantités d'électricité en frottant les métaux avec des corps mauvais conducteurs, comme du verre par exemple, j'ai recouvert les coussins d'une machine avec des feuilles d'étain, et je me suis servi avec un grand succès, dans mes leçons à la Faculté des Sciences, d'un appareil ainsi disposé.

Le métal frotté joint, à l'avantage de développer beaucoup d'électricité, la propriété de communiquer rapidement au sol celle qu'il acquiert par le frottement. Il arrive alors promptement à son état naturel, condition indispensable pour qu'une machine fonctionne le plus utilement possible. L'action physiologique des étincelles produites par une machine dont les cous-

sins sont métalliques est beaucoup plus énergique que dans les machines préparées comme à l'ordinaire.

« Si j'ai renoncé à l'emploi des coussins à surface métallique, c'est que dans des expériences nombreuses l'étain se déchire et l'appareil est mis hors de service. Je suis cependant persuadé qu'on obtiendra des effets énergiques et constants en préparant convenablement des coussins dont la surface sera formée d'un métal non oxidable, et l'on évitera ainsi toute la peine qu'exigent, avec les coussins ordinaires, les précautions suivantes.

« On ne parvient jamais à obtenir de bons effets avec une machine électrique, sans avoir préalablement métallisé les coussins. On emploie, pour cela, l'amalgame ordinaire d'étain et de zinc qu'on réduit en poudre impalpable. Après avoir chauffé les coussins, on passe un peu de suif sur leur surface, et on les frotte ensemble de manière à les imprégner également et parfaitement de matière grasse. Cela fait, on promène leur surface sur de l'amalgame étalé sur du papier chaud ; et quand ils sont convenablement couverts de métal, on les frotte fortement l'un contre l'autre, jusqu'à ce qu'ils montrent une couche métallique parfaitement homogène et lisse. C'est dans cet état qu'on les recouvre d'or mussif réduit en poudre, de la même manière qu'on les a recouverts d'amalgame. Les physiciens et les constructeurs d'instruments attachent une grande importance au choix de l'or mussif, et il leur est arrivé aussi souvent qu'à moi, sans qu'ils puissent s'en rendre compte, de trouver du bisulfure d'étain absolument inerte, pour ne pas dire plus. On doit évidemment attribuer ces effets variables à l'impureté de l'or mussif, puisque des produits purs doivent toujours conduire à des résultats identiques. En effet, on est dans l'habitude d'employer l'or mussif en morceaux ; dans ce cas, pour ne pas altérer les coussins et rayer les plateaux, il doit être onctueux, et par conséquent peu chauffé ; mais alors il contient, comme je m'en suis assuré, du chlorhydrate d'ammoniaque dont les propriétés hygrométriques et conductrices détruisent complé-

tement l'action qu'on veut obtenir : j'ai trouvé, dans de l'or mussif livré par les meilleurs fabricants, jusqu'à 50 pour 100 de sel ammoniac. Avant d'employer le bisulfure, il est nécessaire de le priver des sels étrangers qu'il renferme. Pour cela, je le réduis en poudre et le lave sur un filtre, jusqu'à ce qu'il n'indique plus la présence de sel ammoniac, puis je le sèche et l'emploie en poudre sur un papier chauffé. Depuis que je me sers de ce mode de purification, je n'ai jamais eu le moindre accident, ni la plus petite interruption dans les machines électriques destinées à mes leçons ou à mes expériences.

« Quel est le rôle de l'or mussif dans les appareils électriques? Malgré l'opinion de quelques physiciens qui attribuent à cette substance un rôle électro-chimique résultant de sa décomposition par le frottement, nous pensons que l'or mussif n'éprouve qu'une très-légère altération, qu'il est électrisé par simple frottement, et d'autant plus qu'il est moins adhérent aux coussins, parce qu'alors les points frottés deviennent plus nombreux. La surface métallique inférieure dont nous avons reconnu l'importance, aurait pour effet de décharger plus promptement de leur électricité les particules non conductrices de l'or mussif.

« *Des condensateurs.* — Les condensateurs employés dans mes expériences sont plans et formés de lames de verre recouvertes, sur chacune de leurs faces, d'une feuille mince d'étain. Sous cette forme, on pouvait facilement mesurer leur surface et leur épaisseur, et apprécier leur degré d'homogénéité. *EF*, *fig.* 1 et 2, *pl. II*, représente un condensateur disposé pour expérience entre deux plateaux métalliques P et P', fixés à des tiges métalliques PX et $P'X'$. La première est invariablement fixée, la seconde est mobile dans une douille Z.

Ayant reconnu qu'au moment de l'explosion une forte lueur rougeâtre entourait le bord des feuilles d'étain du condensateur, j'ai pensé qu'une quantité plus ou moins grande d'électricité formait alors un courant dérivé à la surface des carreaux,

et que ce courant, variant avec la tension, devait, en annulant partiellement l'effet lumineux qu'aurait produit la décharge complète, occasionner de grandes erreurs dans les expériences. Pour éviter cet inconvénient d'une décharge partielle à la surface du verre, j'ai ajouté à mes cadres les dispositions suivantes. L'étain étant collé sur le verre dont la surface doit dépasser la lame métallique de 6 ou 8 centimètres, on vernit à chaud, avec une dissolution de bonne cire d'Espagne dans l'alcool, non-seulement la partie nue du verre, mais encore 1 centimètre au moins de la surface métallique. Les couches de vernis successivement déposées doivent former une épaisseur de $^1/_4$ à $^1/_2$ millimètre. On coule ensuite sur le condensateur fortement chauffé un cadre d'une matière isolante (cire d'Espagne ou mélange de cire et de gomme laque), ayant environ 2 millimètres d'épaisseur et 4 à 5 centimètres de largeur, et recouvrant l'étain sur une étendue de 1 centimètre au moins. Un condensateur ainsi préparé peut, sans éprouver la moindre perte, produire des étincelles qui ont jusqu'à 2 centimètres de longueur. Quelquefois une trop grande tension a déterminé la rupture du mastic au moment de la réaction produite par l'explosion.

« *Des conducteurs.* — Dans une chambre entièrement tendue d'une étoffe noire, et ne recevant aucun rayon de lumière (la pièce qui renfermait la machine et le condensateur étant ellemême complétement fermée au jour), étaient placés les autres appareils. *MN* représente la cloison de séparation des deux chambres. Deux tubes de verre *KH*, *K' H'*, mastiqués dans des viroles à vis *K* et *K'*, étaient fixés dans des écrous disposés sur une planche clouée sur le mur. Les tubes de verre, extérieurement et intérieurement vernis à la cire d'Espagne, étaient traversés par des tiges de laiton *VX* et *V' Z*, maintenues au centre des tubes par des bouchons de liége recouverts d'une couche isolante. Je me suis assuré que pour de fortes charges il n'y avait aucune perte par ces supports. Les tubes de verre étaient

encore isolés du mur qu'ils traversaient librement par un gros cylindre de résine. Les armures des condensateurs communiquaient, par les conducteurs métalliques *VG* et *V'G'*, à des colonnes de mercure contenues dans des rigoles *LL*, *L'L'*, creusées dans des cylindres de bois, et vernies intérieurement avec de la cire d'Espagne noire. Ces conducteurs, comme tous les autres accessoires de l'appareil placés dans la chambre noire, étaient recouverts d'un vernis d'un noir mat, de manière à éviter toute réflexion. Les tiges *VG*, *V'G'*, amalgamées sur tous les points plongeant dans le mercure, aboutissaient aux extrémités opposées des canaux *LL*, *L'L'*, de *telle sorte que le circuit parcouru par le courant restait constant*. Le cylindre *L'L'* est isolé sur des pieds de verre recouverts d'une couche de gomme laque noircie. *LL* est fixé au support qui reçoit l'appareil où jaillit l'étincelle. Ce support de bois, construit comme la pièce fixe d'une machine à raboter, est désigné par les lettres *Q'Q*; il est cloué sur une table solidement fixée au mur et au plancher; il porte sur une de ses faces une division en millimètres $\alpha\beta$. L'appareil qui est le siége de l'étincelle est mobile sur *QQ'* et peut être amené, au moyen d'une chaîne sans fin à la Vaucanson et d'une manivelle, à diverses distances du photomètre. La pièce portant l'étincelle est composée d'une planche *ab*, *fig.* 1, supportant deux tiges verticales, l'une de verre $a\gamma$, et l'autre de cuivre $b\delta$. En *I* est invariablement fixé, par une vis de pression, un conducteur métallique plongeant en ω dans le mercure; ce conducteur est terminé en *T'* par une boule montée à vis. Un autre conducteur *TS*, portant aussi une boule vissée *T*, est mis en mouvement au moyen d'une vis micrométrique *RS* donnant le demi-millimètre. La communication avec le sol est établie par le conducteur δbYL, dont la partie *YL* plonge dans la rigole de mercure *LL*. Les supports *oo*, fixés sur la table par des vis de pression, portent une rainure qui permet d'établir le parallélisme entre les rigoles *LL*, *L'L'*.

« *Appareil micrométrique.* — L'appareil micrométrique est

représenté sur de plus grandes dimensions dans les *fig.* 3 et 4, *pl. II*, où il est au tiers de sa grandeur. $\pi'\mu'$ est une règle divisée en demi-millimètres, $\mu\pi$ un cercle divisé en cinquante parties, donnant, par conséquent, le centième de millimètre, et *R* un disque de verre donnant le mouvement à la vis, et destiné à empêcher l'observateur de recevoir des commotions et de distraire une partie de la décharge. Ce micromètre a été construit avec le plus grand soin par Mr. Soleil. Il est à peu près semblable aux micromètres des appareils de diffraction du même constructeur.

« *Appareil photométrique.* — Représenté par φ, *fig.* 1, *pl. II*, le photomètre est essentiellement constitué par un disque de-papier épais, ayant 8 centimètres de diamètre, sur lequel on a tracé 60 secteurs noirs et blancs, alternatifs et de même dimension, n° 1, *fig.* 7, *pl. II*. Les blancs sont formés par le papier dans son état naturel, et les noirs ont été produits avec une couleur connue dans le commerce sous le nom de *noir de lampe*. Cette substance est infiniment préférable à l'encre de Chine, qui ne donne jamais un noir assez mat, et privé entièrement de pouvoir réfléchissant. Le disque de papier était collé sur un support de cuivre, fixé par une douille à l'axe principal d'un mouvement d'horlogerie contenu dans la boîte $\varphi\varepsilon$, *fig.* 1, *pl. II*. A l'aide d'une détente, on pouvait arrêter ou faire mouvoir le disque, dont la vitesse variable pouvait atteindre un maximum de 200 à 250 tours par seconde environ.

« *Lumière fixe.* — La lumière fixe est produite par une très-bonne lampe Carcel A'', *fig.* 5, *pl. II*; son éclairement est constant pendant une ou deux heures, si l'on a soin de ne pas lui faire produire son maximum de lumière, et si l'on attend que l'air qui entretient la combustion soit arrivé à une température uniforme. Cette lampe A'', *fig.* 5, est renfermée dans une boîte de bois noircie $B''B''C''D''$, semblable à celle des fantasmagories. Tout le système se meut sur un chemin à rainure, et le centre de la flamme est indiqué *fig.* 5 et 6, *pl. II*,

par une pointe O'' sur la règle centrale divisée $U''V''$. L'axe $U''V''$ du chemin est perpendiculaire sur celui du support QQ', et le plan du disque photométrique fait, avec chacune de ces lignes, un angle de 45 degrés. Le centre *s*, *fig.* 1 et 2, *pl. II*, des secteurs, celui de la flamme de la lampe, et l'étincelle électrique sont contenus dans un même plan horizontal. L'œil de l'observateur, dont la tête est enveloppée d'un capuchon de laine noire qui s'oppose à toute impression de lumière autre que celle du photomètre, regarde le disque au travers d'un tube $a''b''$ noirci intérieurement et extérieurement, ayant son axe perpendiculaire au plan du disque. Il est, en outre, diaphragmé de manière que l'observateur n'aperçoit que les secteurs. J'ai obtenu, en regardant avec un seul œil, des résultats plus constants qu'en employant les deux. Dans ce dernier cas, la sensibilité est, il est vrai, plus grande; mais si le tube est trop étroit, chaque œil n'aperçoit qu'une partie du champ du disque; de là résulte une grande variation dans la vision. Si le tube est trop large, on reçoit une grande quantité de lumière étrangère qui nuit beaucoup aux opérations. J'ajouterai enfin que j'ai dû abandonner, comme vicieux, l'emploi des lunettes destinées à grossir les secteurs.

« L'appareil étant disposé de manière à faire varier, 1° la distance d'explosion de l'étincelle; 2° la distance de l'étincelle au photomètre; 3° celle de la lumière fixe à ce même instrument, nous allons entrer dans les détails des expériences.

Expériences photométriques. Unité photométrique.

« J'ai disposé sur son support un condensateur ayant 4 décimètres carrés de surface, et j'ai placé la lampe à une distance indéterminée du photomètre; puis, après avoir écarté les boules de 2 ou 3 millimètres, j'ai avancé l'étincelle jusqu'à ce que les secteurs devinssent très-visibles. En continuant à faire jaillir des étincelles, j'ai éloigné le chariot du photomètre, jusqu'à ce

que le disque devînt à peu près uniformément blanchâtre, et c'est le rapport entre l'étincelle et la lumière de la lampe à cet instant, que j'ai pris pour terme de comparaison dans le tableau suivant. Il est évident que, si rien ne change dans la lumière fixe ou dans la vision, les secteurs disparaîtront toujours quand la lumière électrique sera à la lumière fixe dans le même rapport. Dans mes premières expériences, je n'ai pris aucune mesure absolue, et les nombres rapportés plus bas représentent simplement des divisions des échelles : ainsi 41 signifie que l'index marquait 41 demi-millimètres, et le nombre 75, que l'index du chariot portant l'étincelle était sur le n° 75 de la division de la règle $\alpha\gamma$. Je désignerai par X la distance d'explosion, et par Y celle de l'étincelle au photomètre.

Tableau n° I.

X, valeur arbitraire	Y, valeur arbitraire.		Valeur moyenne.	Différence.
mm	mm	mm	mm	mm
41	75	83	79	»
42	170	173	171	92
43	260	262	261	90
44	361	363	362	101
45	455	465	460	98
46	550	554	552	92
			Moyenne. . . .	94

« Dans ce premier essai, les deux observations pour chaque station ont été faites de la manière suivante, constamment employée dans tout le cours de mes recherches. Après avoir obtenu, par exemple, le nombre 75, on remettait le chariot assez près du photomètre pour voir nettement les secteurs ; et lorsque j'avais, en éloignant suffisamment l'étincelle, obtenu la limite où le disque apparaissait uniformément teint, on apportait une lumière pour lire le n° 83 de l'échelle.

« Les expériences précédentes, dans lesquelles la plus grande différence entre deux observations faites pour une même station ne s'élève pas à 1 centimètre, m'ont permis d'établir que le photomètre électrique jouit des avantages suivants :

« 1° Les secteurs disparaissent presque brusquement, et l'on n'a pas à craindre les incertitudes inhérentes aux photomètres basés sur l'égalité des ombres ou des papiers éclairés. Avant la disparition complète des secteurs, on aperçoit des lignes sombres au point de leur réunion ; ces lignes paraissent dues à un contraste de teinte, et peut-être de couleur. Je les ai toujours choisies pour marquer la limite d'éclairement.

« 2° Lorsque, pour des lumières colorées, les autres photomètres sont inapplicables, le mien acquiert plus de sensibilité, parce que, dans ce cas, les secteurs diffèrent non-seulement par la teinte, mais encore par la couleur.

« 3° Le photomètre électrique est applicable à toutes les lumières instantanées. Après avoir parlé de la supériorité de cet instrument, nous signalerons, comme cause d'erreur dans son emploi, une légère diminution dans la sensibilité de l'œil, fatigué par l'éclat continu des lumières, les variations de la lampe et celles de l'étincelle. Ces dernières, très-faibles à la vérité, sont dues au changement d'état de l'atmosphère, ainsi qu'au déplacement des points où s'effectue la décharge. Nous dirons enfin qu'il peut régner une légère incertitude sur l'instant qu'on doit prendre comme limite de l'action de la lumière instantanée. L'observateur doit faire tous ses efforts pour voir toujours de la même manière dans une série d'expériences. Nous avons autant que possible, pour mettre tous nos résultats en parfait accord, employé, comme pôle de décharge, des boules très-petites ou des ellipsoïdes, maintenu uniforme la température de la chambre où était placé le photomètre, et effectué sans aucune interruption une même série d'observations.

« En opérant dans les conditions précédentes, j'ai trouvé que l'intensité de la lumière d'une étincelle électrique, produite

par la décharge d'un condensateur dans des conditions constantes, était invariable, et cela quel que soit le temps que l'on mette à charger le cadre. Il est visible, en effet, que l'explosion n'arrive jamais qu'au moment où la tension du fluide est capable de vaincre la résistance du circuit.

Ce fait bien constaté nous conduit naturellement à comparer toutes les lumières à une étincelle électrique, et à chercher, dans les lois de la production de la lumière électrique, les bases d'une unité photométrique invariable. La découverte d'une unité exigeant, quelle qu'en soit la nature, la connaissance ou la création de moyens de mesure précis ou constants, nous avons dû chercher les moyens de soumettre à des expériences de vérification l'élément photométrique le plus important.

« *De la sensibilité de l'œil et de sa mesure.* — L'exactitude des expériences photométriques dépend de la sensibilité de l'œil. Il faut, pour apprécier leur degré de précision, pouvoir mesurer facilement cette sensibilité pour des lumières ayant des intensités et des couleurs quelconques.

« Bouguer avait senti toute l'importance de cette question qu'il a résolue en partie dans ses belles recherches sur la photométrie. Malgré l'imperfection de ses méthodes et les difficultés qu'elles présentent dans leur emploi journalier, Bouguer était parvenu, à force d'habileté et d'expériences, à des résultats qu'on doit regarder comme suffisamment exacts. Le savant physicien expose ainsi cette partie de ses recherches :

« *Observations faites pour déterminer quelle force il faut qu'ait une lumière pour qu'elle en fasse disparaître une autre plus faible.* — Nous mettrons à la tête de toutes nos observations celles qui nous ont appris la force que doit avoir une lumière pour rendre absolument insensible par sa présence l'effet d'une autre lumière beaucoup plus faible. Tous nos organes, les plus délicats comme les plus grossiers, sont sujets à des délimitations à peu près semblables. De même qu'un grand bruit nous empêche d'en entendre un plus faible, nous ne voyons

pas, en présence d'une forte lumière, une autre dont l'intensité est beaucoup moindre, si les deux frappent notre rétine dans le même endroit.

« Ayant mis une bougie à 1 pied de distance d'une surface très-blanche, j'ai placé à côté de la bougie une règle d'une certaine longueur, et j'ai ensuite éloigné une bougie de même grosseur que la première, jusqu'à ce que je cessasse de distinguer l'ombre de la règle que donnait la deuxième bougie. L'ombre était très-sensible, lorsque je n'ai porté cette bougie qu'à 4 ou 5 pieds de la surface. Tout l'espace que cette ombre occupait était cependant éclairé par la première; mais à côté de cet espace, la lumière était augmentée d'une seizième ou d'une vingt-cinquième partie par les rayons de l'autre bougie, et cette augmentation était très-sensible. Elle l'était encore un peu lorsque je portai la seconde bougie à 6 ou 9 pieds; et enfin, elle disparut, ou, pour m'expliquer autrement, toute la surface me parut d'une blancheur absolument uniforme, lorsque je mis cette même bougie à environ 8 pieds de distance. Ainsi, la distinction entre les deux lumières n'a cessé d'être visible que lorsque la petite partie ajoutée a été environ soixante-quatre fois plus faible que la première. J'aurais pu tirer assez aisément du même corps lumineux les deux lumières que je comparais; mais j'ai répété l'expérience plusieurs fois, et j'ai eu soin de substituer une bougie à la place de l'autre, pour voir si elles éclairaient également. » (BOUGUER, *Traité d'Optique sur la gradation de la lumière*, publié par Lacaille en 1760, page 51.)

« Plus loin, l'auteur que nous venons de citer dit que cette sensibilité doit varier avec l'œil de l'observateur, mais qu'il a cru reconnaître que pour son organe elle était indépendante de la force de la lumière. Mr. Arago, de son côté, a répété et varié les expériences de Bouguer, et il a eu l'obligeance de nous apprendre qu'il avait expérimenté avec des lumières colorées. Il est, en outre, arrivé à ce résultat important : quelle que soit

la limite à laquelle on parvient par le procédé de Bouguer, on ira encore au delà en faisant mouvoir l'ombre sur le fond éclairé.

« Le procédé que je viens de décrire, d'un emploi difficile quand il s'agit d'exécuter un grand nombre d'observations et de les comparer, présente des inconvénients signalés par Bouguer lui-même, page 54 de son ouvrage. Il arrivera souvent, dit ce savant, qu'on n'interceptera pas assez toutes les lumières étrangères ; quelque léger reflet se mêlera avec les rayons dont on compose la force ; on ne les rapprochera pas assez ; ils seront de couleurs différentes, et peut-être encore que le fond des yeux de l'observateur, indépendamment du point où s'insère le nerf optique, ne sera pas partout de même sensibilité.

« A la méthode de Bouguer j'ai ajouté la suivante, qui me paraît en partie à l'abri des défauts que je viens de signaler dans la première. Je prends un disque de papier blanc, n° 2, *fig.* 7, *pl. II*, ayant environ 6 centimètres de diamètre. Sur ce disque, je trace un secteur dont la surface est dans un rapport donné avec celle du cercle ; je prendrai comme exemple $^1/_{60}$ pour représenter ce rapport. Je noircis ensuite une portion *mn* de ce secteur. Je fixe, au moyen de colle de poisson, le disque de papier sur un disque de cuivre de même diamètre, portant de petits appendices destinés à le maintenir dans l'appareil, *fig.* 8, 9 et 10, *pl. II*, qui n'est autre chose qu'un cercle de cuivre creusé pour recevoir à frottement le disque, n° 1, *fig.* 7. A l'aide d'une tige creuse *cd*, on peut disposer l'appareil, *fig.* 10, sur un axe mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie, qui lui imprime une vitesse de deux à trois cents tours par seconde. De petits évasements pratiqués dans le rebord du disque formant support permettent d'enlever, au moyen d'une épingle, le disque mobile qu'on peut ainsi remplacer très-rapidement par un autre.

« Lorsque le cercle, n° 2, *fig.* 7, est en mouvement rapide, le secteur *mn* représente, à cause de la persistance de la sensa-

tion, une couronne dont l'éclairement est de $^1/_{60}$ plus faible que celui du fond, puisque la partie noire *mn* enlève à cette couronne $^1/_{60}$ de la lumière qu'elle recevait sans sa présence. L'œil qui apercevra cette lumière sur le fond sera sensible au soixantième.

« J'ai construit plusieurs disques dans lesquels j'ai fait varier le rapport par dixièmes, depuis $^1/_{50}$ jusqu'à $^1/_{120}$. En essayant différentes vues, j'ai trouvé que pour celles que l'on considère comme faibles, la sensibilité a varié de $^1/_{50}$ à $^1/_{70}$. Elle a été de $^1/_{80}$ à $^1/_{100}$ pour les vues ordinaires, et pour les bonnes vues, de $^1/_{100}$ à $^1/_{120}$ et au delà. J'ai rencontré deux personnes apercevant fort distinctement la couronne produite sur un disque donnant le $^1/_{120}$.

« En faisant varier l'intensité de l'éclairement, j'ai trouvé que, quand il était suffisant pour qu'on pût facilement lire dans un in-octavo, la sensibilité ne variait pas pour un même individu. Ainsi, comme Bouguer l'avait reconnu, la sensibilité de l'œil est indépendante de l'intensité de la lumière. J'ai fait varier de plusieurs manières la puissance du rayon lumineux réfléchi par le disque. J'ai pris la lumière d'une lampe Carcel placée à diverses distances du disque, l'éclairement par un temps sombre et couvert ; j'ai opéré à la lumière diffuse après le coucher du soleil ; j'ai employé la lumière solaire réfléchie par un héliostat, et quelquefois j'ai rendu le faisceau divergent au moyen d'une lentille. La distance de l'œil au disque est sans influence sur la sensibilité, pourvu qu'on n'atteigne pas une certaine limite déterminée par l'angle soutenu par la couronne.

« Les résultats n'ont pas été modifiés quand j'ai changé le rapport entre le diamètre du disque et la largeur de la couronne. J'ai employé des disques dans lesquels la surface parcourue par le secteur noir était le tiers ou le quart de celle du cercle. J'ai placé la partie noire au bord du disque, *fig.* 7, n° 4, au centre n° 3, et entre le centre et la circonférence n° 2. Enfin, j'ai disposé sur un même cercle plusieurs portions noires

appartenant à des secteurs ayant avec le cercle des rapports différents, n° 8, et j'ai employé le disque n° 5. Dans tous les cas, la limite de la sensibilité est restée invariable.

« En éclairant le disque mobile par des lumières colorées, j'ai pu déterminer si la sensibilité de l'œil variait avec la nature des rayons lumineux. Sauf quelques restrictions dont je vais parler, j'ai trouvé que la limite de sensibilité est indépendante de la couleur. Ainsi, je vois aussi distinctement la couronne au $^1/_{100}$, soit que j'éclaire le disque par la lumière naturelle, soit que j'emploie des rayons colorés.

« J'ai produit des lumières de diverses couleurs en faisant passer au travers de verres colorés les rayons du soleil ou ceux d'une lampe Carcel. Je me suis servi des couleurs d'un spectre, et enfin de l'appareil photométrique de Mr. Arago.

« Les verres que je dois à l'obligeance de Mr. Bontemps ont tous été essayés au spectre. Excepté le verre rouge qui ne laissait passer que l'extrémité rouge du spectre, tous les autres laissaient passer toutes les couleurs en quantité variable. Quelques-uns, le rouge par exemple, absorbaient une telle quantité de lumière, qu'on voyait difficilement la couronne.

« Dans les essais précédents, l'observateur ayant l'œil fixé sur le disque pendant un temps plus ou moins long, nous ne pouvons affirmer que les limites de sensibilité, ainsi déterminées, resteront les mêmes quand l'éclairement sera instantané. Je me suis assuré par le moyen suivant que, dans ce dernier cas, la limite de sensibilité éprouvait peu de variations.

« Après avoir éclairé les secteurs du photomètre par une lampe Carcel, j'ai placé une lumière électrique à la distance limite, puis j'ai fait varier, soit la distance de l'étincelle, soit celle de la lampe, de manière à rendre très-sensibles les secteurs. J'ai opéré pour diverses intensités d'éclairement. En comparant ainsi la variation de distance nécessaire pour produire l'apparence des secteurs à la distance absolue des lumières, j'ai trouvé, et cela résulte aussi des expériences que je citerai plus

loin, qu'on pouvait prendre pour limite de sensibilité dans mes expériences photométriques les nombres obtenus pour les lumières fixes.

« En soumettant à mes expériences plusieurs individus, j'ai constaté un fait de la plus haute importance pour la photométrie absolue, je veux dire pour la comparaison des lumières fixes à une lumière instantanée prise pour unité. J'ai trouvé que deux personnes qui avaient la même sensibilité donnaient, après avoir acquis suffisamment l'habitude des expériences, les mêmes nombres au photomètre électrique.

« J'ai substitué aux papiers blancs éclairés par des lumières colorées, des papiers colorés éclairés par de la lumière naturelle. La limite de sensibilité m'a toujours paru plus petite dans ce dernier cas, et un peu variable avec la couleur des papiers. Je ne pense pas cependant qu'on doive regarder ce fait comme une exception à la règle que j'ai établie. Il est, en effet, à peu près impossible de se procurer des papiers uniformément colorés; la lumière qu'ils réfléchissent est toujours très-faible, et le noir qu'on dépose à leur surface adhère difficilement et réfléchit lui-même une quantité de lumière blanche qui varie dans des limites assez étendues, relativement à la lumière réfléchie par les disques colorés. Cependant, pour des papiers rouges et bleus, je suis arrivé très-sensiblement à la limite obtenue par les autres moyens.

« Ayant remarqué qu'à la limite de la couronne décrite par la partie noire du secteur, il y avait toujours un certain contraste qui, rendant la couronne plus apparente sur ses bords, aidait à sa vision, j'ai terminé la partie noire du secteur par une bordure frangée, n°s 6 et 7, *fig.* 7.

« Il résulte aussi des expériences que j'ai faites sur plusieurs individus, que, la sensibilité de leur organe restant la même pour toutes les couleurs, ils éprouvaient, en fixant le disque éclairé par du rouge, une fatigue, un malaise qui indiquaient chez eux une espèce de répugnance pour cette couleur. Il serait curieux

d'examiner si cet effet n'est pas produit sur quelques yeux par une couleur autre que le rouge. Nous n'avons examiné, dans ce travail, que les effets physiologiques qu'il nous importait de connaître pour la suite de nos recherches, laissant aux médecins le soin d'appliquer notre instrument dans l'étude des affections de la vue ou pour les progrès de la physiologie.

« On doit à Mr. E.-T. Fechner une expérience fort curieuse que j'ai répétée avec succès, afin de savoir si le fait découvert par ce physicien n'aurait pas quelque influence sur mes résultats.

« Il est suffisamment connu, dit Mr. Fechner (*Annales de Poggendorff*, t. XLV, p. 227), qu'un disque recouvert de différentes couleurs en quantités déterminées, étant soumis à un mouvement de rotation rapide, produit du blanc ou du gris. Il est étonnant qu'on n'ait pas aperçu un phénomène inverse du précédent. Si l'on fait tourner très-rapidement un disque contenant des alternatives de blanc et de noir, on aperçoit des couleurs. J'ai fait cette observation par hasard, afin d'obtenir diverses teintes de gris par le mouvement d'un disque; j'avais préparé un disque de papier blanc de 18 pouces de diamètre, je l'avais partagé en dix-huit couronnes concentriques de même largeur. La plus interne était entièrement noire; la plus proche contenait 20 degrés, et la suivante 30 degrés de surface blanche, et ainsi de suite; de manière que la dernière était entièrement blanche, n° 9, *fig.* 7, *pl. II*. La portion noire de la figure, quand on fait abstraction des angles, représente une spirale d'Archimède. En faisant tourner le disque (l'auteur ne donne pas la vitesse), je fus étonné d'apercevoir des couleurs variables avec les circonstances du mouvement du disque; ces couleurs n'avaient pas pour mon œil une grande intensité, mais cependant elles n'étaient pas sans éclat. »

« En faisant cette expérience telle que je viens de la décrire, j'ai trouvé, comme Mr. Fechner, que le noir et le blanc acquièrent des couleurs diverses. J'ai surtout remarqué une belle couleur indigo à la place du noir, et en même temps du rouge

sur le blanc. Mais ce qu'il m'importait de constater, c'est que le phénomène ne se manifeste que pour une petite vitesse du disque, beaucoup moindre que celle que j'ai employée dans mes expériences. J'ai toujours observé, en employant un mouvement de cent tours par seconde environ, des couronnes concentriques de teinte grise décroissante, fortement marquées, par le contraste, à leurs points de réunion. Ainsi, dans mes expériences, je ne puis craindre des effets de coloration analogues à ceux que je viens de signaler.

« Nous devons probablement rattacher à la même cause le phénomène observé par Mr. Fechner, et celui qui a été récemment annoncé par Mr. Transon (*Institut*, n° 556). Si l'on fait pirouetter une pièce du jeu de domino sur le petit clou qui fait ordinairement saillie au centre de la face noire, on verra les points de la face numérotée échanger, à un certain degré de vitesse très-faible, leur couleur noire pour une teinte d'un rouge assez vif. »

Après avoir constaté, par un grand nombre d'expériences, que *pour les lumières instantanées, comme pour les lumières permanentes, les intensités sont inversement proportionnelles aux carrés des distances de ces lumières à la surface éclairée*, Mr. Masson passe à l'exposition détaillée des expériences qui l'ont conduit aux autres lois que nous avons rapportées plus haut. Nous ne reproduisons pas les tableaux de ces expériences; nous passons à celles qui sont relatives à *l'influence exercée sur l'intensité de la lumière électrique par la nature des pôles*.

« Afin de connaître l'influence des métaux sur la lumière électrique, j'ai employé, pour former les pôles de l'étincelle, des boules sphériques de différente nature, ayant environ 4 millimètres de diamètre. A chaque changement de métal, on déterminait la position du vernier correspondant au contact des sphères, en rapprochant les boules jusqu'à ce qu'on vît disparaître entre elles une petite étincelle produite par la machine électrique. Ce moyen de prendre le 0 degré de l'échelle m'a paru le plus exact. »

« Si nous classons les métaux en considérant l'accroissement qu'ils peuvent produire dans l'intensité de l'étincelle, nous aurons l'ordre suivant :

I.	II.	III.	IV.
Cuivre,	Fer,	Cuivre,	Laiton,
Fer,	Cuivre,	Laiton,	Fer,
Laiton,	Laiton,	Fer,	Cuivre,
Zinc,	Étain,	Étain,	Zinc,
Étain,	Zinc,	Plomb,	Étain,
Plomb.	Plomb.	Zinc.	Plomb.

« Ainsi classés, les métaux que nous avons essayés forment deux groupes bien distincts. Les métaux compris dans chaque division diffèrent peu entre eux, et il existe une différence d'action très-notable entre les deux classes, qui sont :

I.	II.
Cuivre,	Étain,
Laiton,	Zinc,
Fer.	Plomb.

« En examinant à la loupe les boules qui avaient servi à la production de nombreuses étincelles, on les trouvait toujours profondément altérées aux points d'explosion.

« Les boules de laiton présentaient très-visiblement les anneaux observés par Priestley. Le sommet des sphères, légèrement altéré, était entouré de petits cercles successifs formés de petits trous semblables à ceux qu'on aurait produits avec une fine aiguille d'acier.

« Le fer offrait une petite calotte pointillée et des bourrelets analogues à ceux que j'ai remarqués plusieurs fois sur des tiges de ce métal frappées de la foudre.

« Le cuivre rouge avait le même aspect que le fer, mais sur une moindre étendue.

« L'étain est profondément altéré. Une calotte sphérique offre de profondes aspérités.

« Le zinc et le plomb sont dans le même état que l'étain.

« Ainsi, pour tous les métaux il y a eu transport de matière,

et le phénomène se présente sous le même aspect dans les deux boules. Doit-on maintenant attribuer ce transport à une fusion ou à un arrachement? En examinant les boules après une série de décharges, on n'aperçoit pas la plus légère élévation de température. La surface des métaux oxidables n'offre aucune trace d'oxidation.

« A ces faits je joindrai la remarque suivante. Un secrétaire encadré de baguettes de laiton fut frappé de la foudre. Aux points de jonction des baguettes on apercevait de nombreuses aspérités très-profondes, semblables à celles que j'ai observées sur mes boules, et cependant le bois placé immédiatement au-dessous n'avait pas éprouvé la plus légère altération; le vernis ne fut pas même endommagé. Enfin, en comparant les propriétés électriques précédentes à la fusibilité des métaux, on ne peut établir aucune relation. En effet, les points de fusion des métaux soumis aux expériences sont :

	Wegdwood.	Centigrade.	
Fer	158 à 175	788°	
Zinc	»	360	(Berthier).
		374	(Dumas).
Plomb	»	334	(Berthier).
		322	(Dumas).
Étain	»	212	

« Des métaux ayant des points de fusion très-différents donnent au photomètre la même intensité électrique.

« Nous sommes conduits à supposer que le transport de la substance métallique produit par l'étincelle est un simple arrachement. Dans ce cas, la quantité de métal transporté doit dépendre de sa ténacité, et nous devrons trouver un rapport entre l'action électrique de l'étincelle sur les métaux et leur ténacité.

Ténacité des métaux.

« Un fil de 2 millimètres de diamètre des métaux suivants exige pour se rompre, d'après Mr. Berthier, une charge de

I.		II.	
Fer	249k,659	Étain	24
Cuivre	137,4	Zinc	12
		Plomb	9

« En voyant les métaux classés par leur ténacité dans le même ordre que celui qui est établi par leur influence sur la lumière électrique, nous croyons qu'on doit admettre que les altérations des métaux qui servent de pôles à l'étincelle sont des effets d'arrachement qui dépendent de la ténacité de ces métaux, et non de leur fusibilité.

« Les variations de l'intensité de la lumière doivent être attribuées non pas à des matières en ignition, mais à des variations de conductibilité dans le circuit gazeux, modifié par la substance métallique entraînée.

« Prenons comme exemple le plomb ou le cuivre. Le plomb étant moins tenace que le cuivre, une même tension électrique transportera plus de plomb que de cuivre, et le circuit sera dans les mêmes conditions que si l'on avait augmenté subitement sa conductibilité. La lumière devra donc être plus vive.

« On peut concevoir qu'indépendamment de l'arrachement qui a lieu aux points d'explosion, l'électricité à haute tension éprouve, en passant d'un milieu dans un autre, des résistances variables avec la surface de séparation des deux milieux. De nouvelles expériences sont nécessaires pour appuyer cette dernière idée. »

L'influence exercée par la conductibilité des boules et l'état de leur surface a été aussi l'objet de quelques expériences, dans lesquelles l'auteur a fait usage de boules de laiton polies, dépolies, noircies, recouvertes de différents métaux et aussi amalgamées. Il a conclu de ses expériences, que l'intensité de la lumière électrique augmente lorsque les métaux sont facilement transportés par le courant, et que l'accroissement de lumière doit être attribué plutôt à une augmentation de conductibilité qu'à une incandescence de matière. Il a également con-

staté que les lois photométriques qui ont été déterminées avec des boules de laiton sont les mêmes avec des boules d'un autre métal quelconque, servant de pôles à l'étincelle.

Nous terminons cet extrait en transcrivant textuellement la dernière partie du mémoire de Mr. Masson, qui est consacrée à l'étude de quelques questions plus générales sur la lumière électrique.

Nature de la lumière électrique.

« L'étincelle électrique est-elle un mouvement imprimé par l'électricité à l'éther lumineux, ou une lumière produite par des matières pondérables incandescentes transportées par le fluide électrique? Ces deux opinions, soutenues par différents physiciens, ont été soumises à de nombreuses épreuves qui ont eu pour but unique de constater la couleur et la forme de l'étincelle dans les divers cas de sa production. Les résultats de ces recherches n'ont pu éclairer la question, parce qu'ils n'apprenaient rien sur l'intensité de la lumière, sur la valeur de la force qui la produit.

« La discussion des faits que nous avons découverts, en mesurant les intensités de différentes lumières électriques, rend probable la première hypothèse. En effet le fer, beaucoup moins fusible que l'étain et le zinc, produit sensiblement la même lumière que ces métaux. La combustion des métaux ne paraît pas exercer une influence appréciable sur l'intensité de l'étincelle, puisque le fer et le zinc, que l'on range parmi les métaux les plus combustibles, agissent à peu près comme le plomb et le cuivre. Peut-on admettre que la quantité de matière transportée est proportionnelle à la lumière, et qu'elle suit, avec la distance explosible, la progression régulière que nous avons annoncée? et enfin, expliquera-t-on la vive lumière des éclairs, par l'incandescence de substances lancées d'un nuage à l'autre par le courant? En attendant que les recherches que nous continuons nous offrent de nouveaux éléments de

conviction, nous croyons que la lumière électrique est une action propre de l'électricité sur le fluide lumineux, l'effet d'une explosion dans un milieu élastique, et que la substance transportée par le courant, en modifiant la conductibilité du circuit, change l'intensité de la lumière. L'étincelle électrique étant, comme l'a démontré Mr. Wheatstone dans son beau travail sur la vitesse de l'électricité [1], une succession de petites décharges dans l'atmosphère raréfiée par la première explosion, il doit arriver que le premier choc électrique, en arrachant le métal en quantité plus ou moins grande, produit une espèce d'atmosphère métallique, et change la conductibilité et par conséquent la tension que doit avoir le fluide, pour produire les décharges successives; de telle sorte qu'*une même quantité d'électricité étant, par une augmentation de conductibilité, déchargée dans un temps moindre, produit une lumière plus vive.*

« On conçoit maintenant pourquoi le charbon donne beaucoup moins de lumière, quand il sert de pôle, que les substances métalliques. Néanmoins nous sentons le besoin, pour mieux établir notre opinion, d'examiner l'action de substances non conductrices, les variations de la lumière électrique dans les différents milieux, soit liquides, soit gazeux, pour différents degrés de tension, et de mesurer avec soin la quantité d'électricité enlevée dans tous les cas aux condensateurs.

« L'étude, un peu imparfaite, que nous venons de faire de la lumière électrique, peut déjà jeter quelque jour sur le rôle chimique de l'étincelle. Lorsque, dans un mélange de chlore et d'hydrogène, on fait passer la décharge d'une bouteille de Leyde, on détermine la formation d'acide chlorhydrique. Si, au contraire, on fait passer une série d'étincelles électriques dans de l'acide chlorhydrique gazeux, on décompose ce corps en hydrogène et en chlore, jusqu'à une certaine limite, c'est-à-dire jusqu'à ce que le mélange d'acide chlorhydrique et des

[1] Voyez *Archives de l'Electricité*, 1842, t. II, p. 37.

autres gaz soit dans un rapport déterminé, mais inconnu jusqu'à présent. Pour expliquer ces différentes manières d'agir de l'étincelle, ne peut-on pas admettre qu'elle décompose en agissant comme courant électrique, et qu'elle produit, au contraire, des combinaisons en enflammant les mélanges par la matière pondérable en ignition qu'elle entraîne. Du rapport des intensités du courant, de la température et de la quantité des matières transportées, résulteraient alors les rapports des quantités des gaz qui, par leur mélange, produiraient des milieux gazeux inaltérables par l'étincelle.

« *Relation entre l'intensité de la lumière électrique et la quantité d'électricité qui produit l'étincelle.* — Les expériences de Coulomb ont servi à établir les lois suivantes, applicables seulement à l'électricité statique distribuée sur des conducteurs isolés.

« I. Les attractions et les répulsions électriques sont en raison inverse du carré des distances.

« II. Les forces attractives ou répulsives des corps électrisés, soumis à des actions mutuelles, sont proportionnelles aux produits des quantités d'électricité libre répandue sur chacun d'eux.

« Si l'on représente par a la quantité d'électricité libre qui détermine l'action exercée par un corps électrisé sur un corps à l'état naturel, la force attractive sera exprimée par $\frac{fa}{r^2}$, r étant la distance à laquelle l'action s'exerce.

« Si les parties des deux corps électrisés, soumis à une mutuelle action, renferment une même quantité a d'électricité, on aura, pour représenter cette action, $\frac{fa^2}{r^2}$.

« III. Enfin, la pression exercée par un point quelconque d'un corps électrisé sur le milieu environnant, ou la *tension électrique*, est proportionnelle au carré de la quantité d'électricité accumulée en ce point.

« Mr. Harris, en Angleterre, et Mr. Riess, en Allemagne,

nous ont appris, par de nouvelles et nombreuses recherches, que les lois découvertes par Coulomb étaient encore applicables aux condensateurs électriques. Un mémoire du physicien anglais, publié dans les *Transactions philosophiques* pour 1834, dans lequel nous aurions vivement désiré plus de résultats numériques, contient des lois qui ont été pleinement confirmées par Mr. Riess, dont les beaux travaux auront puissamment contribué aux progrès de l'électricité. Les soins et le talent que le savant physicien allemand a apportés dans ses expériences ne permettent aucun doute sur l'exactitude de ses résultats. Nous extrairons les propositions suivantes de l'intéressant mémoire qu'il a publié dans le tome XL des *Annales de Poggendorff* :

« I. Si l'on représente par q la quantité d'électricité accumulée dans une batterie dont la surface est exprimée par s, la densité électrique pourra être indiquée par $\frac{q}{s}$, c'est-à-dire la quantité d'électricité accumulée sur l'unité de surface.

« La batterie électrique chargée, exerçant une répulsion électrique sur une petite sphère qui lui est contiguë, et sur laquelle la densité électrique est aussi $\frac{q}{s}$, la force répulsive sera proportionnelle à $\frac{q^2}{s^2}$.

« Cette loi est la même pour l'électricité libre répandue sur des conducteurs isolés.

« Si la boule était préalablement chargée d'une quantité quelconque d'électricité, la répulsion exercée par la batterie serait proportionnelle à $\frac{q}{s}$.

« II. La répulsion exercée par la partie intérieure d'une bouteille de Leyde sur une sphère métallique qui lui est contiguë, et qui est attirée par une boule en contact avec l'armure extérieure de cette même batterie, est proportionnelle à

$\frac{q^2}{s^2}$, ou au carré de la densité électrique dans cette bouteille.

« III. Soit d la distance à laquelle arrive l'explosion électrique entre deux boules terminant les armures d'un condensateur électrique, on a $d = p\frac{q}{s}$ (a). Dans cette formule, qui a d'abord été indiquée par Mr. Harris, p est une constante dont la valeur change avec le condensateur. De (a) on déduit $q = \frac{sd}{p}$ (b). Ainsi la quantité d'électricité accumulée sur un condensateur au moment de la décharge est proportionnelle à la distance d'explosion et à la surface du condensateur. Lorsque l'épaisseur du condensateur reste constante, la tension électrique est proportionnelle à $\frac{q^2}{s^2}$, et par suite à d^2 ; or, dans la théorie des condensateurs, on a démontré par expérience que la quantité totale d'électricité accumulée est proportionnelle à la quantité d'électricité libre ; par conséquent, on peut dire que la loi de Mr. Riess complète les lois trouvées par Coulomb, et que la tension sur une batterie est proportionnelle au carré de la quantité d'électricité libre qui déterminerait ainsi la distance d'explosion pour les condensateurs et les surfaces métalliques isolées chargées d'électricité.

« IV. La distance explosible d'une batterie est, pour une même quantité d'électricité, indépendante de la nature de l'arc de décharge s'il est métallique.

« V. Quand l'arc de décharge est bon conducteur, la quantité déchargée dans chaque explosion est toujours la même fraction $^{11}/_{13}$ de la quantité accumulée dans la batterie. (*Annales de Poggendorff*, t. LIII, et *Archives de l'Electricité*.)

« VI. Quand l'arc de décharge est un mauvais conducteur, par exemple une colonne d'eau, la quantité déchargée est plus petite que dans le premier cas. Mr. Riess a trouvé environ les $^{3}/_{8}$ de la quantité accumulée.

« Si dans la formule (1) qui représente mes lois photométriques, nous remplaçons la distance d'explosion x par $p\frac{q}{s}$, nous aurons, en désignant par m le produit $H\frac{p^2}{e}$ et en faisant, comme Mr. Riess, e constant,

$$(2) \qquad I = \frac{m}{Y^2}\ \frac{q^2}{s^2}\ s.$$

Ainsi l'intensité de la lumière électrique est :

« 1° En raison directe du rapport $\frac{q^2}{s^2}$ ou de la *tension électrique de la batterie ;*

« 2° En raison directe de la surface du condensateur.

« En faisant seulement varier q et I, on voit que l'intensité de la lumière est proportionnelle au carré de la quantité d'électricité accumulée dans la batterie, et par conséquent en raison directe du carré de la quantité d'électricité qui produit le courant.

« Nous trouvons donc dans la mesure des lumières électriques un nouveau moyen de mesurer les courants produits par l'électricité à haute tension, et de comparer l'intensité des courants aux quantités d'électricité statique dont ils dérivent.

« En conservant pour e une valeur constante, on déduit des formules (1) et (a), en posant $K = pH$ et $d = X$,

$$(3) \qquad I = \frac{H}{Y^2 e} X.sX = \frac{K}{Y^2 e} X.q, \quad K = pH.$$

« L'intensité de la lumière électrique est donc proportionnelle à la quantité d'électricité accumulée sur la batterie et à la distance explosible qui représente la tension de cette même électricité, puisque, d'après Mr. Riess, la force répulsive d'une batterie sur un corps électrisé est proportionnelle à $\frac{q}{s}$ ou à X.

Si cette loi est vraie, quand on fait varier l'épaisseur d'un condensateur, on doit avoir alors, d'après mes expériences sur la lumière électrique,

$$q = \frac{sX}{pe} \quad \text{ou} \quad X = \frac{pqe}{s}.$$

Nous avons vérifié cette conséquence de nos formules, et nous publierons les résultats que nous avons obtenus, après avoir soumis à de nouvelles expériences un plus grand nombre de condensateurs.

« Les expériences de Mr. Riess et les nôtres montrent bien que l'électromètre de Lannes donne, à chaque décharge, des quantités d'électricité qui sont entre elles comme les distances explosibles, et que cet instrument remplit parfaitement le but auquel son auteur l'a destiné.

« Il n'est peut être pas superflu de montrer ici comment les faits précédents confirment et complètent la théorie des condensateurs.

« Soit q la quantité d'électricité accumulée sur la surface d'un condensateur en communication avec une source ayant une tension constante; soient q' la quantité d'électricité condensée sur l'autre surface, et q'' celle qui est latente sur la face qui reçoit directement l'électricité. $q - q''$ sera l'électricité libre qui est sur le condensateur, et cette électricité aura la même tension que la source. On a $\frac{q'}{q} = m$, m étant une constante qui dépend de la nature des condensateurs et de son épaisseur. Si la surface du condensateur est égale à l'unité, $q = \frac{px}{e}$, p étant la quantité accumulée sur la surface d'un condensateur, dont l'épaisseur est 1 et la distance explosible 1, et q celle qui est accumulée sur un condensateur ayant une épaisseur e, et x pour distance d'explosion.

« Tous les phénomènes électriques conduisent à admettre

que sur les condensateurs la force répulsive est uniquement due à l'électricité libre, qui est ici $q - q''$. On déduit des lois de Coulomb, que cette répulsion ou tension est proportionnelle à $q - q''$. Mr. Riess ayant démontré, ainsi que nous, que cette tension est proportionnelle à la distance d'explosion x, on aura donc $q - q'' = nx$, n étant, pour le condensateur de surface égale à l'unité, la quantité d'électricité libre pour laquelle la distance d'explosion serait l'unité. Nous obtenons donc, pour la quantité totale d'électricité accumulée sur le condensateur, la nouvelle expression

$$q = \frac{p}{n} \; \frac{q - q''}{e} \quad \text{ou} \quad \frac{qe}{q - q''} = \frac{p}{n} = f.$$

« Cette formule est celle qu'on admet généralement si l'on y fait $e = 1$. f représente ce qu'on nomme la force condensante, ou rapport constant entre la quantité totale d'électricité accumulée sur un condensateur ayant pour surface l'unité, et pour épaisseur l'unité et la quantité d'électricité libre qui se trouve sur ce même condensateur. Nous voyons donc que, pour une même quantité d'électricité libre, la quantité totale d'électricité accumulée sur le condensateur est en raison inverse de l'épaisseur. Les expériences de Faraday sur les pouvoirs inducteurs des corps semblent indiquer que f dépend de la nature du condensateur. Nous nous réservons d'examiner bientôt cette question, sur laquelle les physiciens ne paraissent pas encore fixés.

« $q - q''$ étant égal à $q\,(1 - m^2)$, il vient $qe = f.\,q\,(1 - m^2)$, ou $e = f\,(1 - m^2)$, et par conséquent $m = \sqrt{1 - \frac{e}{f}}$, équation qui nous fait connaître m en fonction de f et de e.

« *Rapport entre la quantité de chaleur et la quantité de lumière produite par la décharge d'une certaine quantité d'électricité.* — Mr. Riess a prouvé, par de nombreuses expériences (*Annales de Poggendorff*, tome XLV), qu'en désignant

par T l'échauffement d'un fil, et par W la quantité de chaleur développée dans ce fil, dans lequel on fait passer la décharge d'une batterie, on avait

$$(4)\qquad T = \frac{a'x'}{R^4 cg}\left[\frac{1}{\left(1+\frac{bx\lambda}{\rho^2}\right)}\right]\frac{q^2}{s},$$

$$(5)\qquad W = \frac{a'x'l}{R^2}\left[\frac{1}{\left(1+\frac{bx\lambda}{\rho^2}\right)}\right]\frac{q^2}{s},$$

« Dans cette formule, a' et b sont des constantes qui dépendent des unités employées, de la nature des condensateurs et de leur épaisseur.

« x' et x sont les résistances à la conductibilité électrique, 1° des fils échauffés; 2° des fils qui forment le circuit de la décharge;

R, rayon du fil échauffé;

l, longueur de ce fil;

c, chaleur spécifique, et g densité de ce fil;

ρ, rayon du fil du circuit;

λ, sa longueur;

q, quantité d'électricité accumulée dans la batterie;

s, surface de la batterie.

« En faisant seulement varier q et s, on aura

$$(6)\qquad \left\{\begin{array}{l} T = P\,\dfrac{q^2}{s}, \\[2ex] W = Q\,\dfrac{q^2}{s}. \end{array}\right.$$

Mais nous avons $q = \frac{sd}{p}$. Substituant cette valeur de q dans (6), on a

$$(7)\qquad \left\{\begin{array}{l} T = P'd^2 s, \\ W = Q'd^2 s. \end{array}\right.$$

« Ces formules représentent aussi les variations de la lumière électrique, quand on fait seulement varier q et s. Nous pouvons conclure des expériences de Mr. Riess et des nôtres, ce fait remarquable :

« *Si des courants électriques produits par des décharges de batterie donnent naissance à de la lumière dans un point d'interruption du circuit et de la chaleur dans un fil faisant partie de ce même circuit, les quantités de chaleur sont proportionnelles aux quantités de lumière.*

« En conséquence de ce fait, l'un des effets du courant électrique pourra servir de mesure à l'autre, et l'on conçoit la possibilité de ramener les mesures photométriques à des évaluations thermométriques, en prenant pour unité de lumière l'étincelle qui, dans des conditions données, serait produite par une décharge produisant l'unité de chaleur.

« En établissant un nouveau lien entre la chaleur, la lumière et l'électricité, notre travail semble assigner une même origine à ces trois ordres de phénomènes, et nous concevons l'espoir de ramener un jour la mesure de leurs effets à une même unité.

« *Applications du photomètre électrique.* — Possédant une lumière électrique constante, nous pourrons étudier les rapports des intensités des lumières fixes, et aborder la question économique de l'éclairage, non moins importante pour les grandes villes que celle de la distribution des eaux. Pour fixer notre unité de lumière, longtemps cherchée et désirée par tous les physiciens, il nous suffira de déterminer l'influence de la conductibilité du circuit et du pouvoir condensant des condensateurs. Ces travaux formeront le complément de ce mémoire.

« Les lois de l'absorption de la lumière par différents milieux, les intensités des lumières réfléchies ou transmises, seront l'objet de mes recherches.

« L'invariabilité de notre unité photométrique rend possible la solution des grandes questions de photométrie météorologi-

que, telles que la mesure des intensités lumineuses des astres, des éclairs, des étoiles filantes, des bolides, etc.

« On pourra comparer les intensités du soleil à diverses époques du jour et de l'année, et trouver le pouvoir absorbant de l'atmosphère. Les modifications que peut facilement subir le photomètre donnent l'espoir de mesurer les intensités des différents rayons de lumière décomposée par des prismes de différente nature. Ce que je viens de dire suffit pour montrer toute l'importance du photomètre électrique, soit en optique, soit en électricité, et mon plus vif désir est de pouvoir étudier quelques-uns des problèmes dont il promet la solution. »

MÉMOIRE SUR LA DÉCOMPOSITION DE L'EAU PAR LES MÉTAUX, EN PRÉSENCE DES ACIDES ET DES SELS, par Mr. E. MILLON. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, du 7 juillet 1845.)

L'altération des métaux, soit par l'eau pure, soit par l'eau chargée de principes acides ou salins, est un phénomène qui se présente fréquemment dans le laboratoire : ce phénomène intéresse aussi nos usages domestiques, et, parmi les faits industriels, il occupe certainement une place importante.

« Les expériences que je vais décrire se rattachent toutes à cette altération des métaux par l'eau, en présence des acides et des sels ; elles ne comprennent en définitive qu'une indication simple de quelques circonstances sous l'action desquelles nos métaux les plus usuels, le fer, le zinc, l'étain, le cuivre, s'attaquent et quelquefois se conservent. Mais, entre toutes ces circonstances, il en est une que je détacherai de suite, parce que je crois son intervention à peu près inaperçue jusqu'ici : je veux signaler l'influence des petites quantités.

Cette influence, si je ne me trompe sur la première impression que j'en ai reçue, est considérable.

Si l'on venait à dire, en effet, qu'il suffit d'une petite quantité de solution métallique ajoutée dans la proportion de un millième, de un cent-millième, et souvent dans une proportion moindre, pour centupler l'action d'un acide sur un métal, ou pour annihiler cette action, ou pour la provoquer lorsqu'elle n'existe pas, ou bien enfin pour changer la nature des produits, à tel point que l'hydrogène remplace des composés nitreux, on semblerait, dans une pareille assertion, aussi éloigné des faits que des prévisions chimiques.

C'est pourtant ce qui se réalise.

Le détail des expériences va montrer combien il est facile de reproduire tous ces phénomènes.

Du zinc et de la décomposition qu'il exerce à la faveur des petites quantités métalliques, sur les solutions acides ou salines et sur l'eau pure elle-même.

Zinc et acide sulfurique. — Plusieurs chimistes ont déjà signalé la résistance particulière que le zinc oppose quelquefois à l'action dissolvante de l'acide sulfurique affaibli. On est généralement disposé à attribuer cette résistance à la pureté du métal, qui ne décomposerait l'eau avec facilité qu'à la faveur de quelque métal étranger combiné au zinc. Le phénomène a été envisagé ici d'une manière différente : le métal a été pris tel qu'il se trouve dans le commerce, tandis que l'acide, l'eau saline ou l'eau pure elle-même ont reçu, avant d'être mis au contact du zinc, une petite quantité de solution saline étrangère.

Ainsi, du zinc laminé a été mis en présence de l'acide sulfurique affaibli, auquel on avait ajouté quelques traces, soit de bichlorure de platine, soit d'émétique, d'acide arsénieux, de sulfate de cuivre, de sulfate d'argent, etc. Le métal, pesé avant la réaction, était pesé de nouveau lorsque la réaction avait

duré un temps déterminé. Dans d'autres circonstances, le gaz était recueilli et mesuré.

Je vais indiquer les principales conditions des expériences faites à l'aide du zinc et de l'acide sulfurique affaibli.

Le zinc était laminé en feuilles assez minces, qui offraient une surface de 100 à 102 centimètres carrés pour un poids de 15 grammes.

L'acide sulfurique était composé de 1 partie en poids d'acide sulfurique monohydraté SO^3,HO pour 12 parties d'eau distillée.

Le zinc fut pesé exactement, et six quantités à peu près égales furent introduites dans six flacons de verre qui contenaient chacun 1 ½ décilitre d'acide sulfurique au douzième; les flacons étaient distingués par les nᵒˢ 1, 2, 3, 4, 5 et 6.

Dans le flacon n° 1, l'acide resta pur; le n° 2 reçut 4 gouttes d'une solution de bichlorure de platine faite avec 1 partie de bichlorure et 10 parties d'eau; les nᵒˢ 3, 4, 5 et 6 reçurent quelques gouttes de solutions saturées d'émétique, d'acide arsénieux, de sulfate de cuivre et de sulfate d'argent.

La durée de l'expérience fut de 10 minutes pour chaque flacon.

N° 1. Acide sulfurique affaibli, sans addition :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,119; perte, 0gr,028.

N° 2. Acide sulfurique avec bichlorure de platine :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,466; perte, 4gr,298.

N° 3. Acide sulfurique, avec émétique, 10 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,600; perte, 0gr,800.

N° 4. Acide sulfurique, avec sulfate de cuivre, 10 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 9gr,808; perte, 1gr,234.

N° 5. Acide sulfurique, avec acide arsénieux, 15 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,857; perte, 3gr,706.

N° 6. Acide sulfurique, avec sulfate d'argent, 15 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,349; perte, 0gr,071.

Il était impossible d'employer, dans chaque expérience, une quantité de zinc exactement semblable; mais en ramenant, par le calcul, les nombres qui ont été inscrits pour le poids et la perte du métal à une même expression, et en prenant pour unité l'action de l'acide pur sur le métal, on arrive au tableau suivant :

Action de l'acide sulfurique	pur	1
—	avec addition de bichlorure de platine.	149
—	avec addition d'acide arsénieux	123
—	avec addition de sulfate de cuivre	45
—	avec addition d'émétique	29
—	avec addition de sulfate d'argent	2,4

On remarque, dans l'addition des solutions salines précédentes, que l'influence du bichlorure de platine est immédiate et suit une marche décroissante; l'influence de l'acide arsénieux s'établit, au contraire, avec une sorte de lenteur, mais elle se développe rapidement de manière à égaler bientôt celle du bichlorure de platine.

Le sulfate de cuivre, l'émétique et le sulfate d'argent produisent aussi une accélération croissante.

J'ai mesuré cette accélération pour le sulfate d'argent : dans deux expériences comparatives qui ont duré une heure, au lieu de 10 minutes, j'ai obtenu :

Première expérience. — Zinc et acide au douzième, sans addition :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,091 ; perte, 1gr,187.

Seconde expérience. — Zinc et acide sulfurique additionné de sulfate d'argent, 15 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 10gr,278; perte, 5gr,527.

Ainsi, l'accélération produite par le sulfate d'argent a dû s'exprimer par 2,4 pour une durée de dix minutes, et par 4,6 pour une durée d'une heure.

Les solutions salines de cobalt, de nickel, d'étain, de cadmium, de chrome, de plomb, d'antimoine et de bismuth ac-

célèrent aussi le dégagement d'hydrogène ; mais leur influence n'a pas été mesurée comme pour les solutions précédentes qui ont semblé offrir les exemples les plus frappants d'accélération lente ou rapide.

Lorsqu'on ajoute quelques gouttes de bichlorure de mercure à l'acide sulfurique affaibli, le zinc se recouvre d'une couche d'amalgame, et se trouve ainsi préservé d'une façon très-remarquable. C'est un fait bien connu qui a déjà été utilement appliqué à la construction de certaines piles électriques.

Dans une expérience où j'ai tâché d'évaluer cette préservation du zinc par le mercure, 20gr,978 de zinc métallique ont été abandonnés pendant soixante-dix heures au contact d'une quantité d'acide sulfurique au dixième suffisante pour dissoudre tout le métal en une heure et demie environ. La perte du zinc laminé n'a été, au bout des soixante-dix heures, que de 0gr,343.

On voit qu'une petite quantité de mercure agit dans un sens diamétralement opposé à une petite quantité de platine ou d'arsenic. Ces oppositions se multiplieront et deviendront plus frappantes, lorsqu'une même solution saline, ajoutée en proportion également minime, se montrera préservatrice avec le fer, après avoir centuplé la dissolution du zinc.

Il était intéressant de se demander si, en faisant varier la proportion des petites quantités, on modifierait leur influence. Voici, à ce sujet, le résultat de deux expériences comparatives.

Première expérience. — Acide sulfurique au douzième, additionné de 1 goutte de bichlorure de platine :

Poids du zinc, avant l'expérience, 10gr,379 ; perte, 1gr,848.

Seconde expérience. — Acide sulfurique au douzième, additionné de 10 gouttes de bichlorure de platine :

Poids du zinc, avant l'expérience, 10gr,257 ; perte, 3gr,871.

La durée de chaque expérience a été de 5 minutes.

La quantité de bichlorure de platine, en devenant dix fois plus grande, a produit une action à peu près deux fois plus

énergique. La proportion des petites quantités n'est donc pas indifférente ; elle le deviendrait sans doute au delà de certaines limites, ou bien se subordonnerait à d'autres influences.

Quant à la persistance de l'influence exercée par les petites quantités, on peut en prendre une idée par les expériences qui suivent :

1° Trois quantités de zinc sensiblement égales en poids sont plongées séparément dans l'acide sulfurique au douzième ; puis elles sont retirées, la première après 5 minutes, la deuxième après 10 minutes, la troisième après 15 minutes.

2° Trois quantités de zinc sensiblement égales aux précédentes sont plongées dans l'acide sulfurique au douzième, additionné de 4 gouttes de bichlorure de platine ; elles sont ensuite retirées de l'acide aux mêmes intervalles que les précédentes.

Première série. — Zinc et acide sulfurique au dixième :

Zinc, avant l'expérience, 15gr,104 ; perte en 5 minutes, 0gr,025.
Zinc, avant l'expérience, 15gr,041 ; perte en 10 minutes, 0gr,058.
Zinc, avant l'expérience, 15gr,215 ; perte en 15 minutes, 0gr,120.

Seconde série. — Zinc et acide sulfurique au douzième, additionné de 4 gouttes de bichlorure de platine :

Zinc, avant l'expérience, 15gr,352 ; perte, après 5 minutes, 3gr,653.
Zinc, avant l'expérience, 15gr,326 ; perte, après 10 minutes, 6gr,325.
Zinc, avant l'expérience, 15gr,237 ; perte, après 15 minutes, 7gr,206.

L'action de l'acide sulfurique affaibli sur le zinc est très-rapidement croissante ; il n'en est plus de même lorsque l'acide sulfurique contient quelques traces de bichlorure de platine. Aussi est-on loin de trouver, à la suite d'une addition de bichlorure de platine, des différences très-considérables lorsqu'on n'examine plus l'action initiale. Si l'on comparait, par exemple, le temps nécessaire à une dissolution complète, on trouverait que le bichlorure de platine rend seulement la dissolution cinq ou six fois plus rapide.

La concentration de l'acide est encore un point important à considérer. Un acide sulfurique au dixième présenterait des

effets moins caractéristiques ; une concentration plus grande les effacerait de plus en plus.

Je n'entre pas ici dans la recherche des causes qui déterminent ces variations.

Zinc au contact de quelques acides. — Les acides minéraux et organiques subissent, comme l'acide sulfurique, l'influence des petites quantités métalliques ; mais cette influence varie avec chaque acide. On peut apprécier ces différences par les nombres que je fournirai au sujet de l'acide chlorhydrique ; je me bornerai, pour les autres acides, à des indications générales.

L'acide chlorhydrique doit être très-affaibli pour que l'addition des petites quantités influe fortement sur les résultats de son action.

Pour un volume d'acide chlorhydrique, il ne faut pas moins de 40 volumes d'eau.

L'expérience a été disposée comme pour l'acide sulfurique affaibli ; le contact de l'acide et du zinc a duré une heure.

Première expérience. — Acide chlorhydrique affaibli, sans addition :

Zinc, avant l'expérience, 5gr,640 ; perte, 0gr,059.

Deuxième expérience. — Acide chlorhydrique affaibli, avec bichlorure de platine, 4 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 5gr,691 ; perte, 2gr,586.

Troisième expérience. — Acide chlorhydrique affaibli, avec acide arsénieux, 20 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 5gr,664 ; perte, 2gr,258.

Quatrième expérience. — Acide chlorhydrique affaibli, avec émétique, 15 gouttes :

Zinc, avant l'expérience, 5gr,636 ; perte, 2gr,054.

En exprimant l'action de l'acide pur par. 1
Celle du même acide additionné de bichlorure de platine doit s'exprimer par. 43
Avec addition d'acide arsénieux, par 38
Et avec addition d'émétique, par. 35

Ainsi le bichlorure de platine est loin de produire une accélération aussi forte qu'avec l'acide sulfurique, et l'émétique, qui, avec ce dernier acide, agissait cinq fois moins que le bichlorure de platine, possède une influence presque égale en présence de l'acide chlorhydrique.

Une solution faible ou concentrée d'acide oxalique pur ne convertit pas le zinc en oxalate, même à l'aide de l'ébullition. La moindre trace de bichlorure de platine intervient-elle, tout le métal est transformé, même à froid, bien que l'oxalate du zinc soit insoluble. Le bichlorure de platine agit seul ici d'une manière bien prononcée : le sulfate de cuivre, l'acide arsénieux, etc., semblent sans influence.

L'acide acétique radical, étendu de 1 volume d'eau, attaque faiblement le zinc métallique; mais une seule goutte de bichlorure de platine communique à la réaction une intensité des plus remarquables. En comparant les quantités de zinc dissoutes, j'en ai trouvé deux cents fois plus du côté du bichlorure de platine. Le bichlorure de mercure n'exerce, au contraire, aucune influence préservatrice avec cet acide faible ; l'acide arsénieux ne développe son action qu'après un temps fort long. Le sulfate de cuivre et l'émétique accélèrent, mais beaucoup moins que le sel de platine.

L'acide butyrique affaibli se comporte exactement comme l'acide acétique.

L'acide citrique est très-propre à fournir un exemple d'accélération comparative. Il faut le dissoudre dans cinq à six fois son poids d'eau, son action est alors très-faible ; mais le bichlorure de platine, le sulfate de cuivre et l'acide arsénieux déterminent un dégagement d'hydrogène très-abondant. Le sulfate d'argent ne possède aucune influence appréciable ; le bichlorure de mercure préserve très-bien le métal.

L'acide tartrique, dissous dans sept ou huit fois son poids d'eau, présente des phénomènes analogues à ceux de l'acide citrique. Il faut excepter seulement le sulfate d'argent, qui accélère notablement la conversion du zinc en tartrate.

L'acide racémique rentre aussi dans la catégorie des deux acides précédents, et se confond avec l'acide tartrique. Le sulfate d'argent accélère aussi la formation du racémate ; mais l'acide arsénieux n'agit qu'avec beaucoup de lenteur.

Zinc au contact de l'eau distillée et des solutions salines.

L'action si énergique de plusieurs acides sur le zinc, à la faveur de quelques gouttes d'une solution métallique, se retrouve encore lorsqu'on remplace ces acides par diverses solutions salines.

Les chlorures de potassium et de sodium, les sulfates de soude, de potasse, de magnésie, en solution dans l'eau, les lessives alcalines de soude, de potasse et d'ammoniaque sont dans ce cas. Il suffit d'ajouter à ces dissolutions quelques gouttes de bichlorure de platine, pour que la grenaille de zinc y détermine, même à froid, un dégagement d'hydrogène très-sensible. A la température de l'eau bouillante, le gaz se produit avec abondance.

L'eau de mer, l'eau de rivière, l'eau distillée elle-même, sont décomposées par le zinc, sous l'influence des petites quantités métalliques. L'eau distillée fournit moins d'hydrogène que celle qui renferme des principes salins. Ce dégagement est instantané, mais il se continue longtemps. Un petit flacon de 8 onces garni de grenaille de zinc fut rempli avec de l'eau distillée qui avait reçu six gouttes de bichlorure de platine. L'hydrogène se produisit aussitôt; il s'en forma 300 centimètres cubes dans l'espace de vingt-quatre heures. Le second et le troisième jour, le dégagement fut à peu près le même ; au bout de huit jours, il ne se forma plus que 200 centimètres cubes environ, dans le même espace de temps; mais au bout de vingt jours, la production du gaz continue encore. Il faut ajouter que le bichlorure de platine et le sulfate de cuivre sont les seuls sels métalliques qui, ajoutés à l'eau distillée, en provoquent la décom-

position par le zinc. L'acide arsénieux, l'émétique, le sulfate d'argent ne produisent pas une seule bulle d'hydrogène. Le bichlorure de platine agit lui-même beaucoup plus énergiquement que le sulfate de cuivre; et, de toutes les solutions salines, celle qui renferme du sulfate de soude donne le dégagement d'hydrogène le plus abondant.

Une solution saturée de sel marin, additionné de bichlorure de platine, a fourni 127 centimètres cubes d'hydrogène, tandis qu'une solution saturée de sulfate de soude a donné, dans des conditions analogues, 224 centimètres cubes [1].

Lorsque le zinc rencontre dans les solutions acides ou salines, ou même dans l'eau pure, la petite quantité de sel métallique qu'on y ajoute, on reconnaît sans peine que le métal de cette petite quantité est précipité à la surface du zinc. Ainsi, ce dernier métal se recouvre d'une couche noire, si c'est le bichlorure du platine qui agit, et le sulfate de cuivre dépose à sa surface une couche de cuivre rouge. Peut-être n'est-ce pas toujours une simple précipitation métallique qui se fait; mais c'est au moins le cas le plus ordinaire. Comme il se forme alors une

[1] La lumière concourt certainement à la marche des phénomènes qui viennent d'être indiqués. C'est surtout dans les actions lentes, avec des dissolutions salines, que cette influence se constate. En évitant la lumière, on ralentit le dégagement d'hydrogène, d'une manière générale. Mais, dans certains cas, ce ralentissement de l'action offre un caractère tout particulier. Ainsi, qu'on prenne deux flacons de même dimension, dont l'un est abrité de la lumière par des enveloppes de papier noir et d'étain laminé, tandis que l'autre reçoit la lumière directe du ciel; qu'on introduise dans chacun d'eux une égale quantité de zinc laminé et de dissolution saturée de sel marin, avec addition de bichlorure de platine; on observera d'abord un dégagement plus rapide dans le flacon enveloppé: mais tout à coup l'hydrogène cesse de se produire de ce côté, et, au bout de quelques heures, on enlève inutilement les enveloppes; l'hydrogène ne se forme plus. Du côté opposé, le dégagement, beaucoup plus lent dans le principe, se continue sans interruption et peut durer *plusieurs mois*. Il est inutile d'ajouter que, dès le commencement de l'expérience, les deux flacons plongent dans une même capsule remplie d'eau.

petite quantité de chlorure ou de tout autre sel de zinc, correspondante à la petite quantité de bichlorure de platine, ou de tout autre sel employé, on se demande si le sel ainsi formé participe aux réactions précédentes. Si cette influence se fait sentir, elle est au moins bien faible. On peut, en effet, après la précipitation du platine ou de tout autre métal, laver très-exactement les lames de zinc, et remplacer ensuite la solution primitive saline ou acide, par une solution semblable dans laquelle le sel de zinc résultant de la précipitation ne peut plus se former. Le dégagement d'hydrogène continue comme avant le changement de la dissolution.

Fer et étain.

Le fer et l'étain ont été soumis à des épreuves analogues à celles du zinc.

L'acide sulfurique au douzième dissout assez rapidement la tournure de fer ; quelques gouttes de bichlorure de platine communiquent à cette action une intensité extrême. L'acide arsénieux, au contraire, arrête toute action de l'acide sulfurique sur le fer : cette influence est assez prononcée pour que du fer métallique puisse se conserver un mois entier, et sans doute plus longtemps encore, dans de l'acide sulfurique au douzième, qui le dissoudrait assez rapidement. Lorsque le fer est bien décapé, il suffit de quelques gouttes d'une solution aqueuse d'acide arsénieux pour le préserver de l'acide ; il conserve en même temps un reflet métallique dont la teinte devient seulement assez foncée.

L'émétique ralentit l'action de l'acide sulfurique sur le fer, mais il ne l'arrête pas. Le bichlorure de mercure agit dans le même sens que l'émétique. Le sulfate de cuivre accélère fortement le dégagement d'hydrogène ; le sulfate d'argent l'accélère aussi, mais d'une manière moins sensible.

L'acide chlorhydrique reçoit, des petites quantités métalli-

ques, la même influence que l'acide sulfurique affaibli : on peut même observer ces réactions avec un acide chlorhydrique assez concentré ; il suffit d'étendre l'acide pur et fumant de 2 ou 3 volumes d'eau. Dans quelques cas, l'addition d'une petite quantité de sulfate de cuivre a suspendu, très-notablement, l'action de l'acide chlorhydrique. Le fer se recouvrait de cuivre métallique, et restait plusieurs heures sans fournir de l'hydrogène ; mais il n'en a pas toujours été ainsi, sans qu'il ait été possible de reconnaître si cette différence tenait à l'acide chlorhydrique ou au fer.

L'acide acétique radical affaibli, ou bien l'acide du commerce provenant de la distillation du bois, n'agissent que très-lentement sur le fer. Le bichlorure de platine rend le dégagement plus sensible ; les autres solutions métalliques semblent indifférentes. L'acide arsénieux arrête toute réaction, ainsi qu'il le fait avec les deux acides précédents.

Les acides tartrique et racémique se confondent dans toutes les influences qu'ils subissent : dégagement plus abondant avec le bichlorure de platine ; obstacle à la réaction avec l'acide arsénieux; indifférence à peu près complète de la part des autres solutions métalliques.

Lorsque l'acide oxalique a reçu quelques gouttes de bichlorure de platine, le fer se recouvre, comme dans les cas précédents, d'une couche noire de platine ; mais, au lieu de se dissoudre plus rapidement, le fer se conserve exactement comme si l'on eût ajouté de l'acide arsénieux, qui ne cesse pas d'exercer ici son influence préservatrice.

Le bioxalate et le quadroxalate de potasse, additionnés d'une petite quantité de bichlorure de platine, se comportent comme l'acide oxalique à l'égard du fer. Cette exception, présentée par l'acide oxalique et ses composés, est la seule qui se soit rencontrée dans l'influence du bichlorure de platine sur le fer et sur tous les autres métaux.

Les solutions salines et l'eau distillée peuvent produire de

l'hydrogène avec le fer lorsqu'on fait intervenir une petite quantité de bichlorure de platine; mais ces actions sont lentes, et beaucoup moins faciles à observer sur le fer que sur le zinc.

L'acide nitrique reçoit une influence fort curieuse de la présence du bichlorure de platine, lorsqu'il agit sur le fer métallique. Que l'on verse, en effet, de l'acide nitrique à 4 équivalents d'eau et demi, étendu de 2 ou 3 volumes d'eau sur du fer en tournure, et aussitôt le métal se dissoudra en dégageant des vapeurs nitreuses abondantes et en produisant un persel de fer. Mais qu'on ajoute au même acide, semblablement affaibli, une goutte de bichlorure de platine, et alors le fer, en se dissolvant, cessera de produire des vapeurs nitreuses. C'est de l'hydrogène qui se dégagera. Il se formera, en même temps, un protonitrate de fer et du nitrate d'ammoniaque. Ainsi les petites quantités métalliques n'ont pas seulement la puissance de modérer, d'accélérer ou d'anéantir les réactions chimiques, elles peuvent encore changer la nature des produits qui en résultent.

Étain. — C'est avec l'acide chlorhydrique que l'étain présente le phénomène des petites quantités le plus net et le plus saillant. Comme cette réaction donne précisément naissance au protochlorure d'étain, dont l'industrie fait une consommation assez forte, l'influence des petites quantités trouve ici une application immédiate et d'une extrême simplicité.

Dans les expériences qui vont être indiquées, l'étain, pris dans le commerce, était en grenaille ou laminé.

L'acide employé a été tantôt l'acide du commerce, tantôt l'acide chlorhydrique pur et fumant, étendu d'un volume d'eau.

C'est au bichlorure de platine et à l'émétique que revient l'influence la plus marquée sur la dissolution de l'étain. L'acide arsénieux et les autres solutions métalliques ne possèdent aucune influence notable.

De l'étain laminé a été mis au contact de l'acide chlorhydrique pur et fumant, étendu de son volume d'eau, à la température de + 21 degrés. L'étain a été pesé avant et après la réaction.

Première expérience. — Acide chlorhydrique pur, sans addition :

Etain, avant l'expérience, 19gr,672; perte, 0gr,562.

Deuxième expérience. — Acide chlorhydrique, additionné de 15 gouttes d'eau d'une solution saturée d'émétique :

Etain, avant l'expérience, 19gr,841 ; perte, 6gr,296.

Troisième expérience. — Acide chlorhydrique, additionné de 15 gouttes d'une solution de bichlorure de platine :

Etain, avant l'expérience, 18gr,974 ; perte, 7gr,495.

En exprimant l'action de l'acide chlorhydrique pur sur l'étain par 1, l'action du même acide additionné d'une petite quantité d'émétique pourra s'exprimer par 11, et par 13 pour une addition de bichlorure de platine.

Lorsqu'on opère à la température de l'eau bouillante, la différence entre le platine et l'antimoine est à l'avantage de ce dernier, et l'on trouve que l'émétique rend, à ce degré de chaleur, l'action de l'acide chlorhydrique cinq fois plus rapide, tandis que le bichlorure de platine la porte seulement au triple.

L'influence des petites quantités métalliques est encore plus prononcée lorsqu'on emploie l'étain en grenaille, et qu'on verse sur lui l'acide chlorhydrique du commerce.

100 grammes de grenaille d'étain ont été dissous, en *vingt minutes*, par 500 grammes d'acide chlorhydrique du commerce chauffé à + 100 degrés, et additionné de 40 gouttes d'une solution saturée d'émétique.

Le même acide placé dans les mêmes conditions, mais sans addition aucune, et versé sur 100 grammes d'étain en grenaille, n'en a dissous que 90 grammes dans l'espace de *trois heures*.

Ainsi, avec quelques millionièmes d'antimoine, l'acide chlorhydrique a dissous une plus grande quantité d'étain, dans un espace de temps neuf fois moindre.

Quand on compare l'action de l'acide bouillant à celle de

l'acide froid, mais additionné d'émétique, on trouve que ce dernier agit presque aussi rapidement ; de sorte que, dans la fabrication du protochlorure d'étain, on pourra sans doute remplacer la chaleur par une quantité minime d'émétique ou de tout autre sel d'antimoine ; ou bien encore, à la faveur de la même addition, l'opération deviendra huit ou dix fois plus prompte. Si l'on se rappelle que l'usage des vases de verre est nécessaire à la préparation du protochlorure d'étain, on comprendra tout l'intérêt du fabricant à éloigner l'emploi de la chaleur, ou à abréger la durée de l'opération.

Les phénomènes présentés par l'acide sulfurique plus ou moins dilué, dans son action sur l'étain, ne fournissent aucun fait qui m'ait paru digne d'intérêt. J'ai aussi abandonné l'étude des acides organiques qui, en toute circonstance, n'agissent pas ou n'agissent que très-lentement.

Plomb, cuivre et antimoine.

Il était curieux de découvrir jusqu'où s'étendrait cette influence des petites quantités métalliques : devait-elle amener la décomposition de l'eau par certains métaux qui, dans les circonstances ordinaires, ne dégagent point d'hydrogène en présence des acides les plus énergiques ? J'ai soumis à cette épreuve le plomb, le cuivre, l'antimoine, le bismuth, l'argent et le mercure.

Je n'ai pas tardé à reconnaître que la grenaille de plomb dégageait de l'hydrogène assez abondamment lorsqu'on versait sur elle de l'acide chlorhydrique concentré. L'addition du bichlorure de platine communique une grande énergie à la réaction et provoque un dégagement d'hydrogène, même avec l'acide chlorhydrique affaibli qui n'agit pas autrement.

Le bismuth, l'argent et le mercure ne décomposent l'eau dans aucun cas ; mais le cuivre à froid et l'antimoine à chaud fournissent de l'hydrogène au contact de l'acide chlorhydrique, additionné d'une petite quantité de bichlorure de platine. Avec le cuivre, cette décomposition est assez vive. On peut affaiblir

l'acide chlorhydrique par 1 ou 2 volumes d'eau, sans que l'hydrogène cesse de le produire. En chauffant un peu, le gaz se produit aussi rapidement qu'avec le zinc et l'acide sulfurique affaibli. Le cuivre en grenaille suffit, dans tous les cas, pour produire la réaction.

L'antimoine donne aussi de l'hydrogène avec l'acide chlorhydrique, qui renferme une proportion minime de bichlorure de platine; mais on ne retire qu'une très-petite quantité de gaz, et encore faut-il maintenir l'acide à l'ébullition.

Ainsi deux métaux, le cuivre et le platine, agissent, par leur concours, dans des circonstances où ils sont inertes si on les prend isolément. L'un et l'autre sont impropres à décomposer l'eau sous l'influence des acides, mais il suffit d'ajouter le plus indifférent des deux, en apparence, pour que cette décomposition apparaisse.

L'étude des effets chimiques dus aux petites quantités m'a déjà permis plusieurs fois de constater que deux affinités faibles, insensibles, déterminent des effets énergiques au moment où elles s'unissent [1]. L'acide nitrique, mêlé à l'acide nitreux,

[1] L'addition d'un peu de bichlorure de platine à l'acide nitrique arrête l'action oxidante que ce dernier exerce sur le cuivre. Un acide nitrique pur étendu de 3 ou 4 volumes d'eau peut, à la faveur de cette addition, rester quelque temps au contact du cuivre en grenaille. Mais il suffit de la moindre quantité de nitrite pour déterminer une réaction prompte. J'ai repris, à ce sujet, l'examen de la réaction qui s'accomplit entre le cuivre et l'acide nitrique faible bien exempt d'acide nitreux. J'avais attribué (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e série, t. VI, p. 73) à l'acide nitreux la propriété de provoquer la conversion du cuivre en nitrate et de la propager par une reproduction incessante d'acide nitreux. Mr. Gay-Lussac a paru croire qu'il n'en était pas ainsi, et que l'acide nitreux agissait au sein de l'acide nitrique comme il le ferait, par exemple, ajouté à l'acide sulfurique, et n'oxidait sans doute qu'en raison de sa quantité, sans aucune propagation.

J'ai pesé, dans cette réaction, la quantité de nitrite de potasse que j'ajoutais à l'acide nitrique, et en pesant également les lames de cuivre attaquées par l'acide nitrique rendu nitreux, j'ai trouvé que le cuivre pouvait perdre en poids dix et quinze fois plus qu'il ne l'eût fait, si l'action initiale de l'acide nitreux ne se fût pas renouvelée aux dépens de l'acide

s'exalte dans ses propriétés oxidantes; l'acide iodique brûle les substances alimentaires dès que la force comburante de l'iode lui vient en aide; le cuivre et le platine, par une action conjointe, décomposent l'eau.

Ne faudrait-il pas rechercher dans les corps, à côté de l'affinité chimique qui éclate par des effets directs, une affinité secondaire très-petite, qui, pour arriver à une réaction sensible, appellerait le secours d'une autre affinité, dirigée dans le même sens? On devine tout l'intérêt qui s'attacherait à l'observation et à la découverte de ce parallélisme de l'affinité, puisqu'il ferait sortir des principes chimiques mis en réaction, des résultats qu'on est loin d'en attendre. Au moins peut-on et doit-on dire, pour le moment, qu'il ne suffirait plus de s'inquiéter de deux termes antagonistes dans les actions chimiques. Il faut compter souvent, en un phénomène chimique, avec trois termes et peut-être avec un plus grand nombre encore. Je ne parle pas ici des circonstances physiques, on sait qu'il n'en faut négliger aucune.

nitrique. J'avais toujours soin de disposer une expérience comparative, dans laquelle le même acide nitrique, exempt d'acide nitreux, restait au contact d'une même quantité de cuivre laminé. La quantité minime de cuivre, dissoute de ce dernier côté, était retranchée du côté opposé, et j'attribuais la différence à la réaction propagatrice de l'acide nitreux.

Je pense donc qu'il y a quelque probabilité en faveur des conclusions auxquelles je suis arrivé à l'égard de l'influence de l'acide nitreux dans l'action oxidante de l'acide nitrique. J'en dirai autant de l'eau régale, malgré la découverte intéressante du composé de Mr. Baudrimont. Je me suis assuré par des expériences très-variées que ce liquide, si curieux d'ailleurs, ne correspond pas à AzO^5, mais bien à AzO^4. Il se convertit tout entier au contact de l'eau, et sans aucun dégagement, en AzO^4 et HCl, et par suite, en acides nitrique, nitreux et chlorhydrique. De sorte que dans l'eau régale, aussi bien que dans la dissolution aqueuse du composé de Mr. Baudrimont, les métaux se trouvent en présence de plusieurs acides, au nombre desquels se trouve l'acide nitreux. Pour transporter à ce cas l'idée que je développe aujourd'hui, je dirai que l'eau régale offre la réunion de plusieurs forces chimiques parallèles, à savoir: deux acides oxidants, AzO^5 et AzO^3, et un troisième acide, HCl, propre à dissoudre le produit d'oxidation.

DE LA MÉTHODE DANS L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME, à propos du *Trattato del Magnetismo e della Elettricità*, dell' Abbate Francesco Zantedeschi, professore di fisica e matematica applicata nell' I. R. Liceo di Venezia, etc., etc., 1844—45; par Mr. le professeur E. WARTMANN.

Le nom de Mr. l'abbé Zantedeschi est familier aux philosophes et aux physiciens. Les premiers connaissent ses *Traités de Psychologie*, de *Logique et de Métaphysique*, et de *Philosophie morale*. Les seconds ont suivi avec intérêt le développement de ses recherches expérimentales qui datent de 1829, et qui sont exposées dans près de quarante mémoires presque tous relatifs à l'électricité et au magnétisme. Ses *Saggi dell' elettro-magnetico e magneto-elettrico*, sa *Relazione storico-critica sperimentale sull' elettro-magnetismo* et les discussions qu'il a soutenues sur plusieurs sujets scientifiques, ont répandu au loin sa réputation. Aussi, en rendant compte de l'ouvrage que le professeur vénitien vient de publier, le considérerai-je non comme l'essai d'un débutant qui a besoin d'encouragement, mais comme l'œuvre d'un savant parvenu à la force de l'âge, et dont la position scientifique demande une appréciation sincère et digne de lui.

La composition d'un traité se résume dans les trois parties suivantes: l'énumération des faits et des théories, leur coordination dans un système général qui en montre les rapports et les lacunes, enfin la critique raisonnée des méthodes d'expérimentation et des spéculations auxquelles les faits ont conduit.

En ce qui regarde l'énumération des faits, il est essentiel de remarquer que, la météorologie exceptée, il n'est aucune branche de la physique où ils soient individuellement plus nombreux et plus difficiles à ramener à des lois générales que dans le domaine de l'électricité. On ne doit donc pas les rassembler au

hasard; il y a de la responsabilité à encourir dans le choix qu'on en fait pour son lecteur. Tel fait cité dans tous les livres est demeuré et restera sans portée; tel autre, qu'on n'a point exhumé du mémoire original où l'inventeur l'a consigné, changera un jour nos vues sur la science entière. Depuis Franklin et Nollet on a renchéri sur l'amusant, on a inventé vingt manières piquantes, vingt appareils joujoux pour démontrer les attractions et les répulsions électriques, les propriétés lumineuses et calorifiques de l'étincelle; mais en s'étendant comme à plaisir sur ces sentiers fleuris qui introduisent à la science et qui en rendent le préambule attrayant, n'a-t-on peut-être pas commis la faute de leur attacher une importance qu'ils ne méritent pas?

A cette première difficulté s'en joint une seconde non moins digne d'attention: celle de la méthode. Ce serait, dans mon opinion, un grand service à rendre à la physique que de définir d'une manière critique la coordination qui convient le mieux à son exposition, de faire pour elle ce que les grands naturalistes ont fait pour les sciences naturelles, et de compléter en le mettant à la hauteur de nos connaissances actuelles le célèbre *Essai sur la philosophie des Sciences*. Ce travail servirait à établir un ensemble bien désirable entre les divers départements de la physique, et, dans chacun de ceux-ci, établirait l'ordre synthétique des parties qui, déjà explorées, appellent de nouvelles recherches pour amoindrir les lacunes qui les séparent et voilent leurs rapports et leurs dissemblances. Fertiliser ces déserts du savoir humain, réunir par de nouvelles et larges voies de communication les cantons déjà connus, les rendre ainsi plus productifs, tels seraient, à mon point de vue, les avantages de cette tentative, si elle était couronnée de succès. On m'objectera peut-être l'absence de limites bien tranchées entre ces cantons, et on me rappellera la remarquable sentence de Linné: *Omnes utrinque affinitatem monstrant uti territorium in mappâ geographicâ.* Mais les végétaux dont le botaniste d'Upsal parle sont en nombre défini; en est-il de même des in-

vestigations qui ont pour objet le rôle des forces dans la nature? Au surplus, qu'on ne se méprenne pas sur ma pensée; tout est relatif, et il faut s'attendre que la distribution la plus méthodique et la plus habile subira, dans plusieurs de ses parties, des changements que le perfectionnement de nos moyens de recherche et le nombre croissant des faits observés rendront peu à peu indispensables. Mais ces changements eux-mêmes, ne l'oublions pas, seront un gain; ils marqueront, comme par des jalons, les divers états dans lesquels la science s'est successivement transformée, et la comparaison historique de ces états ne sera sans doute pas inutile à ses conquêtes ultérieures: *ex aliquo fit aliquid.*

Les traités de physique varient de méthode entre eux, non-seulement avec l'époque de leur publication et le but dans lequel ils sont écrits, mais encore avec la tournure d'esprit de leurs auteurs, et la nation à laquelle ils appartiennent. Plus d'une fois soit ignorance des langues étrangères, soit manque des sources écrites dans ces langues, soit amour intense pour la patrie, un même sujet a été traité de manières bien différentes sur les versants des Alpes ou dans les contrées que sépare le Rhin. Cela est sans contredit un mal; mais les efforts de l'éducation moderne et le réseau de communications qui fera bientôt de l'Europe un seul tout, l'amoindriront toujours davantage. Pour ne pas m'étendre plus que ne le comporte la nature de cet article, je me bornerai à considérer le sujet traité par Mr. Zantedeschi.

L'Electricité, à cause de son caractère de science peu avancée, ne forme pas un corps de doctrine aussi compacte et aussi bien subdivisé que l'Optique par exemple. Aussi est-il très-difficile de tracer une méthode qui convienne à son étude. L'exposition historique prévaut souvent, mais à tort[1]. Les mé-

[1] Mr. Dove m'a fait remarquer qu'elle offre cependant l'avantage de montrer la substitution successive, dans nos appareils les plus usuels, de corps conducteurs aux substances isolantes. Mais l'introduction et le ch. 7 du sommaire que je vais indiquer présentent la même utilité.

thodes simples et directes, les résultats vraiment généraux et féconds ne se révèlent que tard : suivre la voie analytique, c'est traiter avec un désavantage évident cette branche si intéressante de la philosophie naturelle. Aussi le docteur Lardner, dans son Manuel d'Electricité, de Magnétisme et de Météorologie, a-t-il fait précéder l'exposition systématique de son sujet d'une revue chronologique et anecdotique des travaux qui l'ont développé. L'ordre des temps a encore un second inconvénient fort grave, celui de produire des méprises dangereuses sur la valeur scientifique des parties. Il n'est pas rare de trouver des personnes instruites pour lesquelles la machine électrique est l'instrument par excellence, et qui considèrent la pile et les sources d'électricité autres que le frottement, comme n'ayant qu'une valeur très-secondaire. Une distribution vraiment méthodique doit faire entièrement disparaître une doctrine aussi erronée.— Enfin l'arrangement des faits suivant leur date, fait perdre un temps précieux. Quelle utilité peut-il y avoir à reproduire sous le point de vue expérimental, la série des perfectionnements qui ont donné à la plupart des appareils modernes une sûreté, une facilité et une énergie d'emploi si différentes de ce qu'elles étaient dans l'origine? Le plus souvent ne vaut-il pas beaucoup mieux décrire et employer dès l'abord l'instrument parfait, puisqu'il sert à répéter toutes les expériences, les primitives comme les récentes, et que dans sa forme actuelle il résume, par une heureuse combinaison de ses pièces, les transformations qu'il a subies depuis son inventeur?

Ces diverses considérations et d'autres encore sur lesquelles je pourrai revenir ailleurs, m'ont guidé dans l'établissement de l'ordre suivant qui a en sa faveur une expérience de sept années de leçons académiques, et qui m'a paru être le moins possible en opposition avec la règle de procéder du connu à l'inconnu. Si je le relate ici, c'est afin de provoquer, s'il y a lieu, une discussion sur sa valeur ou la publication d'essais semblables, et afin d'être dispensé d'entrer dans des détails d'explica-

tions qu'il rend inutiles ; — tout en répétant que ce n'est qu'une ébauche imparfaite, une première esquisse qui, sérieusement et critiquement considérée, sera susceptible d'un grand nombre de modifications et de perfectionnements.

Magnétisme.

Introduction. — Coup d'œil sur les phénomènes généraux.

Ch. 1. — Sources de magnétisme et procédés d'aimantation ; conservation des aimants.

Ch. 2. — Propriétés des aimants ; attraction, répulsion, direction, action chimique.

Ch. 3. — Distribution du magnétisme dans les aimants ; cas de leur rupture.

Ch. 4. — Théorie des fluides magnétiques.

Ch. 5. — Description des appareils magnétiques.

Ch. 6. — Magnétisme terrestre.

Ch. 7. — Magnétisme des corps autres que le fer.

Ch. 8. — Applications à la navigation, à l'arpentage et à la médecine.

Ch. 9. — Relations du magnétisme avec la lumière et avec la chaleur.

Ch. 10. — Histoire du magnétisme.

Electricité.

Introduction. — Coup d'œil sur les phénomènes généraux, les procédés de mesure et les appareils électriques.

Ch. 1. — Sources d'électricité.

- § *a.* Actions mécaniques : frottement, pression, percussion, clivage, évaporation ; machines électriques et hydro-électriques.
- § *b.* Action chimique ; théorie du contact : piles hydro-électriques ; piles sèches.
- § *c.* Chaleur ; cristaux pyro-électriques ; piles thermo-électriques.
- § *d.* Influence statique ; induction dynamique ; machine électro-électrique.
- § *e.* Magnétisme ; machine magnéto-électrique.
- § *f.* Force vitale ; poissons électriques, etc. ; électricité de la végétation.
- § *g.* Lumière.

Ch. 2. — Propriétés de l'électricité.

A Electricité statique.

- § *a.* Distribution à la surface ; pouvoir des pointes.
- § *b.* Attractions et répulsions, électrométrie.
- § *c.* Propagation ; force de retard, propriétés de la décharge.
- § *d.* Propriétés lumineuses.
- § *e.* Propriétés calorifiques.

§ *f.* Propriétés chimiques.
§ *g.* Propriétés mécaniques.
§ *h.* Propriétés physiologiques.
§ *i.* Propriétés magnétiques.

B Electricité dynamique.

§ *k.* Phénomènes généraux de la conductibilité.
§ *l.* Intensité des courants; travaux d'Ohm, Fechner, Pouillet, etc.
§ *m.* Propriétés lumineuses ; éclairage électrique.
§ *n.* Propriétés calorifiques.
§ *o.* Propriétés chimiques ; électro-chimie.
§ *p.* Propriétés mécaniques, sonores, motrices, etc.
§ *q.* Propriétés physiologiques.
§ *r.* Propriétés électriques ; électro-dynamique.
§ *s.* Propriétés magnétiques ; électro-magnétisme ; théories partielles d'Œrsted et d'Ampère.

CH. 3. — Electricité atmosphérique.

§ *a.* Sources.
§ *b.* Etat ordinaire ; distribution par un ciel serein ou couvert.— Variations diurnes, annuelles, locales.
§ *c.* Etat orageux ; nuages électriques, leur formation, leur hauteur, leur apparence sombre ou lumineuse, etc.
§ *d.* Eclairs, leurs variétés, leurs propriétés.
§ *e.* Tonnerre, cause, bruit, etc.
§ *f.* Foudre, choc en retour, odeur, etc. ; quels corps elle frappe; effets calorifiques, chimiques, mécaniques, physiologiques, magnétiques.
§ *g.* Grêle, trombes, aurores boréales.

CH. 4. — Applications de l'électricité.

§ *a.* Paratonnerres, paragrêles, etc.
§ *b.* Mesure des températures.
§ *c.* Analyse chimique.
§ *d.* Travaux métallurgiques; opérations géologiques naturelles.
§ *e.* Conservation des métaux, doublage des vaisseaux; fer galvanisé.
§ *f.* Dépôts métalliques sur les métaux, dorure, etc.
§ *g.* Reproduction des reliefs, électrotypie.
§ *h.* Télégraphie, horloges, enregistreurs, moteurs électro-magnétiques.
§ *i.* Mouvements dits perpétuels.
§ *k.* Médecine.

CH. 5. — Relations de l'électricité avec les impondérables.

§ *a.* Relations avec la lumière.
§ *b.* — avec la chaleur.
§ *c.* — avec le magnétisme.

CH. 6. — Théories de l'électricité.

CH. 7. — Histoire de l'électricité.

Ce sont ces deux derniers chapitres et le quatrième chapitre du magnétisme qui représentent la troisième partie d'un traité scientifique, partie dont il me reste à parler, et qui est consacrée à la critique raisonnée des méthodes d'expérimentation et des spéculations auxquelles les faits ont conduit. Au fond ce que cherche l'expérimentateur, c'est d'isoler l'une après l'autre chacune des forces qui concourent à la production d'un phénomène unique ou d'un ensemble de phénomènes semblables, afin d'établir leur part individuelle, et, par exclusion, d'en déterminer le nombre. Or ce problème est ordinairement d'une solution moins aisée que beaucoup ne le croient. Outre l'adresse nécessaire pour reproduire la manifestation naturelle, il faut posséder un instrument qui n'introduise aucune cause d'erreur, aucune chance d'insuccès, aucune force nouvelle, laquelle voilée ou mal appréciée amènerait l'observateur en deçà ou au delà du but qu'il se propose, sans que rien vînt le tirer de sa perplexité. Voyez le galvanomètre de Schweigger, transformé peu à peu en rhéomètre astatique par Nobili et d'autres physiciens. Que de forces concourent à déterminer la déviation définitive de l'index : l'intensité du courant, sa quantité, la qualité conductrice du fil, sa pureté, le rapport d'aimantation des aiguilles, la nature de leur acier, leur mobilité, la torsion du brin de soie qui les retient...! Aussi beaucoup l'emploient et peu en sont contents ; car c'est un labeur fastidieux que de régler un instrument dont les indications ne seront pas longtemps comparables entre elles, sans de nouvelles corrections difficiles. Cependant dans combien de milliers d'expériences on le fait servir, et que de résultats on en a déduits ! Certes, la critique est un devoir essentiel quand il s'agit de se faire historien de cet état de choses. Les corrections récemment apportées à des lois qui semblaient aussi généralement vraies que celles de Mariotte sur la densité des gaz, de Gay-Lussac sur leur coefficient de dilatation, etc., donnent des avertissements salutaires contre une confiance aveugle dans les généra-

lisations auxquelles des méthodes bien moins claires et des épreuves bien moins sûres ont amené plus d'un auteur.

Il est temps de revenir à l'ouvrage de Mr. Zantedeschi. Les prémisses que nous venons de poser serviront à justifier le jugement que nous avons à en porter. Disons d'abord que si son livre est, à notre connaissance, le premier qui traite *ex professo* en italien cette partie de la physique[1], l'auteur avait été précédé soit par MM. Brewster, Roget et Lardner en Angleterre, soit par Mr. Becquerel en France, soit par les éditeurs de la deuxième édition du Dictionnaire de Gehler en Allemagne. Il ne nous a pas paru qu'il ait eu connaissance des traités anglais, et qu'il ait mis à profit les renseignements qu'ils renferment sur la distribution générale et sur quelques détails fort intéressants.

Sous le rapport de l'énumération des faits, le *Trattato* présente au premier plan la tendance qui a déjà plusieurs fois fait prendre la plume à Mr. Zantedeschi, celle de déterminer à quel auteur la science est redevable de chacun de ses progrès. Le *cuique suum* a été son adage directeur et, ce dont nous le remercions, il a éclairé plusieurs points importants des travaux d'autrui, en nous donnant un aperçu détaillé des siens propres. Le second volume surtout ne renferme guère de sections où on ne retrouve les résultats des vingt-trois années d'expériences de l'auteur. Il n'est que juste de signaler ici ces résultats qui donneront une idée de la valeur du livre. A cet égard nous ne saurions mieux faire que rapporter ce qu'il nous a écrit lui-même, en préfixant un * aux sujets qui nous ont paru développés d'une manière particulièrement neuve et intéressante. «* Dans l'électro-magnétisme, j'ai déterminé les lois élémentaires et je leur ai subordonné tous les phénomènes connus jusqu'à ce jour. Dans la thermo-électricité j'ai prouvé que le mercure devient électrique par la caléfaction, déterminé les circonstances

[1] Mr. Matteucci a consacré à l'électricité plus de la moitié de ses *Lezioni di Fisicà*, dont la deuxième édition a paru l'année dernière à Pise.

qui influent sur la direction des courants, et montré que les métaux cristallins sont bipolaires. * Dans le thermo-magnétisme j'ai établi de nouvelles lois. A l'article des rapports de l'électricité et du magnétisme avec la lumière (*luci-elettrico e magnetico*), j'ai mis hors de doute l'existence du courant électrique, et indiqué les circonstances de facile et de difficile aimantation. * J'ai considérablement rectifié les opinions répandues sur l'induction dynamique, observé le premier l'induction thermo-électrique, donné le premier aussi une théorie générale de l'induction dynamique[1]. * La structure de l'organe de la torpille, la ramification du quatrième tronc, le nombre de huit faisceaux qui s'implantent deux à deux dans les lobes électriques, leur distinction d'avec la moelle allongée qui leur est inférieure, leur influence sur la force de la secousse, enfin la distribution de l'électricité dans le corps de ce poisson, ainsi que l'existence du courant sous-cutané dirigé de la périphérie au centre dans les animaux à sang chaud, sont tout autant du sujets que j'ai traités à neuf. Dans la magnéto-électricité (dont la découverte appartient non à Faraday mais à moi)[2], j'ai déterminé les lois des courants magnéto-électriques, et observé qu'une machine magnéto-électrique fonctionne pendant un certain temps comme une machine électro-magnétique. J'ai étendu

[1] *I fenomeni d'induzione dinamica non sono che casi speciali dei communi effetti delle attuazioni* (attrazioni ?) *ordinarie*, t. II, p. 292. Et plus loin : *Tutti i fenomeni d'induzione dinamica rientrano in quelli di induzione statica*, p. 297. Voilà en quoi consiste l'exposé de cette théorie. On aurait aimé la trouver développée et appliquée aux principaux cas observés, rendant compte des lois secondaires qu'elle doit embrasser (et dont plusieurs restent à découvrir), enfin justifiée par les procédés du calcul, comme Biot, Poisson, Ampère, Coulomb, etc., en ont donné l'exemple pour d'autres théories partielles.

[2] Il va sans dire que je laisse ici à l'auteur la responsabilité de l'assertion. La science ne profite pas à ces questions de priorité qui entretiennent souvent, en Italie autant qu'ailleurs, des sentiments peu conformes à la fraternité que l'amour pur de la vérité doit produire entre les hommes d'étude.

le domaine de la galvanographie. * Enfin le chapitre sur les guérisons par l'électricité est un premier essai de cette application établie sur des principes scientifiques, et que j'ai cherché à illustrer par de nouveaux exemples de cures. »

On comprend que, dans les 935 pages octavo qui constituent les deux volumes du traité, le développement de tous ces travaux de l'auteur, les renvois au bas des pages et les blancs nécessaires (il y en a peu, et l'impression fait honneur aux presses arméniennes de San-Lazzaro) laissent une place assez restreinte aux recherches des autres. Le livre n'est pas assez complet pour justifier son titre absolu de Traité, dans le sens français du mot. On n'y trouve presque aucune formule. Les travaux mathématiques de Coulomb sur les pertes d'électricité et sur les attractions et les répulsions électriques, ceux de Poisson sur la distribution de l'électricité statique, ceux d'Ampère sur l'électrodynamique, ceux de Barlow, de Poisson, d'Airy, de Gauss, de Hansteen, de Lloyd, de Lamont et de tant d'autres sur diverses branches du magnétisme en général, et du magnétisme terrestre en particulier, n'y sont exposés que d'une manière excessivement concise, ou manquent totalement. Les recherches de Mr. Becquerel (auquel l'ouvrage est dédié), qui ont ouvert une phase nouvelle dans l'électro-chimie, n'y occupent pas la place qu'elles méritent. On en peut dire autant sur la discussion si actuelle et si vivante entre les partisans de Volta et les champions de l'action chimique comme source des puissances de la pile. Enfin, pour terminer cette petite guerre de détail, je signalerai à l'auteur deux perfectionnements à apporter à son livre dans une future édition. Plusieurs noms étrangers sont incorrectement orthographiés, ce qui, sans doute, est dû à la négligence des imprimeurs. J'aurais préféré trouver en tête du premier volume une table générale d'abréviations des titres des sources auxquelles on a puisé (sources qui, pour les recherches des savants étrangers à l'Italie, n'ont pas toujours été de première main), et ne pas voir des renvois aussi détaillés au bas de cha-

que page. Enfin et surtout il manque à cet ouvrage, pour mettre en évidence toute la valeur qu'il possède incontestablement, une table générale alphabétique des noms d'auteurs et des matières.

Quant à l'ordre dans lequel les divers sujets sont exposés, il est représenté par les dix grandes divisions suivantes :

I. Du Magnétisme.
II. De l'Electricité commune.
III. De l'Electricité atmosphérique.
IV. Des Electricités galvanique et voltaïque.
V. De l'Electro-magnétisme.
VI. De la Thermo-électricité et de la Photo-électricité.
VII. De l'Electricité animale.
VIII. De la Magnéto-électricité.
IX. De l'Electro-électricité.
X. De l'Electrotypie et de la Thérapeutique électrique.

Ainsi ce qui tient aux propriétés du fluide, indépendamment des sources dont on le retire, n'a point été distingué; on pourrait croire qu'il y a plusieurs espèces d'électricité, ayant chacune son origine et ses manifestations propres. Cette méthodologie est défectueuse. Mais je me hâte d'ajouter que l'auteur a diminué considérablement le désavantage de sa classification, en traitant d'une manière fort remarquable, dans autant de subdivisions particulières, les diverses propriétés de l'agent qu'il étudie, et les lois qui les régissent.

Enfin, sous le rapport des théories, le Traité de Mr. Zantedeschi m'a paru être vraiment utile aux progrès de la physique. Après avoir traité des hypothèses de Dufay et de Franklin, il se déclare partisan de celle de Fusinieri, qui ne voit dans le magnétisme et dans l'électricité que des forces inhérentes à la matière. Son livre développe en plusieurs endroits les preuves qui militent en faveur de cette opinion à laquelle Œrsted, Winckler, Faraday et d'autres se sont plus ou moins explicitement rangés. Or cette hypothèse n'a pas encore eu cours en France, où la doctrine de l'ondulation a de nombreux et habiles partisans. Le temps est venu, ce semble, d'attaquer la difficulté et d'engager, par l'expérience aidée du calcul, la lutte qui

décidera de ce grand mystère. Mr. Zantedeschi me permettra d'ajouter que les idées soutenues par Savary, Dulong, M. Lamé, etc., n'ont pas trouvé dans son livre une exposition suffisante, et n'y sont pas même discutées; et qu'il a interprété d'une manière prématurée les convictions de l'auteur de cet article, et de Mr. de la Rive, en déclarant qu'ils se rangent entièrement à sa manière de voir [1].

J'ai exposé franchement, comme le vœu de l'auteur et sa haute position scientifique m'en faisaient un devoir, ce que je pense sur les perfectionnements dont son livre me paraît susceptible; il me reste à dire avec la même sincérité quels services il rend à la science. Le premier c'est de grouper sous une forme peu volumineuse les faits et les doctrines. Le grand traité de Mr. Becquerel, dont la publication a duré plus de six ans et qui a atteint sept volumes, n'est pas et ne pouvait guère être distribué dans un ordre logique et satisfaisant. Les travaux des électriciens et des associations magnétiques, tout en faisant disparaître d'importantes lacunes dans la science, les mettaient en évidence dans les volumes qui ont été publiés les premiers, et il a fallu, dans les plus récents, revenir sur des sujets déjà traités, pour en compléter l'exposition. La même imperfection existe, quoique moins évidente, dans l'excellent Manuel d'Electricité dont le docteur Lardner a publié en 1841 le premier volume, et qui n'a été mené à bon terme que trois ans après, par les soins de Mr. Ch. Walker, auquel on doit le tome second et dernier. Quant aux traités sur l'électricité, le galvanisme, le magnétisme et l'électro-magnétisme, dont le savant et modeste docteur Roget a enrichi la *Library of useful Knowledge*, leur seul défaut c'est de dater de 1832. Disons, en

[1] Parmi les diverses inexactitudes analogues mais trop peu importantes pour être relevées en détail, je me bornerai à citer celle qui se trouve dans la dernière phrase du second volume. L'imprimeur fait dire à Mr. Zantedeschi que c'est lui qui a prouvé la non caloricité propre de l'électricité, tout en renvoyant d'une manière correcte au mémoire dans lequel cette démonstration existe, et qui est de moi.



passant, que les planches dont le *Trattato* du professeur italien est orné, sont d'une bonne exécution : toutefois il y aurait avantage à suivre l'exemple des Anglais et des Français, qui depuis quelques années intercalent dans le texte des gravures sur bois d'une grande netteté de dessin.

L'ouvrage de Mr. Zantedeschi fera connaître, en les résumant, les nombreuses recherches des savants italiens, de Fusinieri en particulier, recherches presque ignorées en France et en Angleterre. La patrie de Galvani, de Volta, de Nobili, continue à recueillir l'héritage de leurs découvertes, ainsi que le témoignent les noms de Marianini, Matteucci, Melloni, Antinori, Majocchi, Magrini, Configliachi, L. Pacinotti, Botto, Gazzeri, Ridolfi, Bardi, Barlocci, Gherardi, Linari, Morichini, Palmieri, Zamboni, Carpi, Folchi, Michelotti, Dal Negro, Gerdi, etc., qui reviennent incessamment dans le Traité.

Mr. Zantedeschi travaille à un traité de calorique et d'optique. Cette circonstance aussi m'a engagé à développer en tête de cet article mes idées sur la méthode. Il sera bien intéressant de comparer ce nouvel ouvrage d'un ami de Mr. Fusinieri avec celui que Mr. Melloni prépare sur sa science favorite. Les discussions entre ces estimables savants, que les Annales des Sciences du royaume Lombard-Vénitien, et le Musée des Sciences et de la Littérature publié à Naples, ont fait connaître au public italien, montrent combien est grande la divergence de leurs opinions. Mes meilleurs vœux accompagneront le professeur de Venise dans cette nouvelle œuvre, destinée, par sa connexion avec celle dont je viens de rendre compte, et que je recommande vivement à l'attention des physiciens, à servir de base à un traité de physique vraiment méthodique et vraiment complet, et dont l'ensemble ne fera qu'ajouter à la considération méritée et à la reconnaissance que les amis des hautes études ont déjà vouées à Mr. Zantedeschi.

DES RAPPORTS QUI EXISTENT ENTRE LES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES ET LES AUTRES CARACTÈRES DES MÉTAUX, par FARADAY. (*Phil. Mag.*, juillet, 1845.)

Dans deux précédentes communications faites au *Philosophical Magazine*, communications concernant les caractères magnétiques des métaux envisagés d'une manière générale et les températures auxquelles chacun d'eux perd ou acquiert la propriété magnétique, j'ai dit que le fer et le nickel étaient les seuls métaux qui jouissaient de ce pouvoir, et que le cobalt pur ne le possédait pas. Sur ce dernier point je commettais une erreur : le cobalt a cette propriété tout comme le fer et le nickel, ainsi que d'autres physiciens l'ont déjà dit. J'ai cherché à retrouver la pièce de cobalt qui m'avait servi à mon expérience, et que j'avais regardée comme pure ; mais je n'ai pu la découvrir, et je suis maintenant dans l'impossibilité de constater la cause de mon erreur, quoique je sois à temps pour la corriger.

Grâce au docteur Perey et à Mr. Askin, j'ai récemment fait des expériences avec deux beaux morceaux de cobalt pur, préparés par Mr. Askin ; tous deux étaient bien fondus et présentaient des masses parfaitement nettes. Le cobalt devient très-magnétique par l'induction soit d'un aimant, soit d'un courant électrique, et on peut aisément l'amener à supporter une masse d'un poids supérieur au sien propre. Comme le fer doux et le nickel, il ne conserve pas son magnétisme, quand l'influence qui le produit cesse d'agir.

C'était pour moi un point d'un haut intérêt que de constater si le cobalt pouvait perdre sa propriété magnétique, et prendre rang parmi les métaux non magnétiques, et à quelle température ce phénomène avait lieu. A mon grand étonne-

ment, je trouvai cette température très-élevée, bien supérieure à celle qu'exigent le fer ou l'acier, et très-rapprochée de celle du cuivre fondu. Pour le fer, la température qui lui fait perdre son pouvoir magnétique est celle qui le fait rougir modérément, et pour le nickel c'est seulement celle de l'huile bouillante. A mesure que la température s'élève, la force magnétique du cobalt continue à subsister sans diminution apparente jusqu'à un certain degré de chaleur ; puis tout à coup elle cesse, et ensuite elle reparaît tout aussi rapidement lorsqu'on fait descendre le métal de températures encore plus élevées.

L'oxide de cobalt qu'on obtient en brûlant le cobalt sur du charbon, au moyen d'un jet d'oxigène, paraissait sous forme de globule fondu, et n'était pas magnétique. L'oxide de nickel, soit qu'on le chauffe ou qu'on le refroidisse, n'est pas magnétique, mais dans le premier cas il faut prendre garde qu'il ne soit pas réduit. S'il est réchauffé par la flamme d'une lampe à esprit-de-vin, surtout dans la partie inférieure, souvent il semble n'être pas magnétique, et ensuite, la température s'abaissant, il devient magnétique ; mais cet effet est causé par la réduction à l'état métallique d'un peu de l'oxide sur les bords de la masse ou en un autre point, et par la production qui en résulte des propriétés ordinaires que le métal manifeste à des températures supérieures et inférieures à celles de son point magnétique.

Manganèse. — Un morceau de manganèse, préparé par Mr. Thomson et regardé comme pur, fut mis entre mes mains. Il contenait une trace de fer et était légèrement magnétique, probablement à cause de cette très-petite quantité de fer. Devant un jet d'oxigène ou de charbon, il brûla avec étincelles, un peu comme le fer, et produisit un oxide qu'on pouvait obtenir, tantôt sous la forme d'une masse blanche et poreuse, tantôt sous la forme d'une masse brune, dense, compacte, et transparente quand elle était coupée en tranches minces ; mais en aucun cas cet oxide n'était magnétique.

Je ramenai alors du manganèse, du chrome et plusieurs autres substances à la température la plus basse que je pusse obtenir par un mélange d'éther et d'acide carbonique solide placé dans le vide; la température fut abaissée ainsi à 156° F. au-dessous de 0, mais aucun de ces corps ne manifesta les propriétés magnétiques.

Voici une liste des substances :

Platine.	Orpiment.
Or.	Réalgar.
Argent.	Sulfure d'antimoine.
Palladium.	Id. de bismuth.
Cuivre.	Id. de cuivre.
Etain.	Id. de fer.
Plomb.	Id. de plomb.
Cadmium.	Id. d'argent.
Zinc.	Id. d'étain.
Rhodium.	Carbonate de fer, natif.
Manganèse.	Bleu de Prusse.
Chrome.	Sulfate cristallisé de fer.
Titanium.	Calomel.
Iridium et Osmium.	Chloride d'argent.
Antimoine.	Chloride de plomb.
Arsenic.	Protoxide d'arsenic.
Bismuth.	Id. d'antimoine.
Métal fusible.	Id. de plomb.
Métal des miroirs.	Oxide de bismuth.
Plombagine.	Id. d'étain, natif.
Charbon retiré des cornues de gaz.	Id. de manganèse, natif.

Il semble donc que le fer, le nickel, le cobalt, sont seuls magnétiques ou susceptibles d'être rendus magnétiques à la façon du fer. Mais le fait que le cobalt jouit de cette propriété, et bien plus encore la très-haute température à laquelle il faut

l'exposer pour la lui enlever, augmentent la probabilité que tous les métaux se présentent de la même manière relativement à cette propriété, et que ce qui distingue des autres les trois métaux magnétiques, n'est qu'une différence de température, de la même manière que c'est encore une différence de température qui les distingue tous les trois les uns des autres.

Relativement à cet effet de la chaleur, on peut remarquer (et peut-être cela a-t-il déjà été fait) qu'en supposant que les parties intérieures de la terre possèdent une température très-élevée, il est évident qu'à une certaine distance de la surface, distance faible si on la compare au diamètre de la terre, les substances dont se compose le globe doivent être privées des pouvoirs magnétiques que possède un aimant ; et à une distance encore plus grande, nul corps ne peut garder même ce pouvoir dont jouit le fer doux, de devenir magnétique par induction. Dans ce cas, soit que l'on considère la terre comme magnétique par elle-même, c'est-à-dire comme un aimant, soit qu'on la regarde comme étant rendue magnétique par induction, sous l'influence de masses magnétiques extérieures, du soleil par exemple, ce n'est jamais que dans la croûte de la terre que le pouvoir magnétique pourrait se développer. Si nous regardons avec Ampère le magnétisme de la terre comme dû à des courants électriques, circulant autour d'elle parallèlement à l'équateur, alors il est hors de doute que les précédentes observations relatives aux effets de la chaleur sont sans application.

SUR LA NATURE DE L'OZÔNE, par C.-F. SCHŒNBEIN.

J'ai fait voir, dans des mémoires précédents, que la présence d'eau libre et d'oxigène libre est absolument indispensable pour la formation de l'ozône ; j'ai démontré, en outre, que quel que soit le mode de sa production, l'ozône est détruit à une certaine température ; enfin j'ai trouvé tout récemment que, dans un assez grand nombre de cas, ce corps se comporte exactement comme les peroxides de plomb, de manganèse et d'argent. J'ai donc conclu de ces faits réunis à d'autres, que l'ozône est un degré supérieur d'oxidation de l'hydrogène, ou plutôt une combinaison particulière de l'eau avec l'oxigène.

MM. de la Rive et Marignac sont arrivés, récemment aussi, à un résultat du plus haut intérêt, savoir que de l'oxigène à l'état de plus grande sécheresse possible donne de l'ozône quand on le soumet à l'influence d'une succession d'étincelles électriques. Ces deux savants en ont conclu que l'ozône n'est pas autre chose que de l'oxigène amené, par l'influence de l'électricité, à un état tout particulier dans lequel ce gaz possède des propriétés chimiques, physiques et physiologiques, qui diffèrent essentiellement de celles qu'il présente dans son état naturel.

Quelque simple et satisfaisante que cette conclusion puisse paraître, elle est d'une nature si extraordinaire, et les conjectures auxquelles elle donnerait lieu si elle est fondée, auraient une portée telle, que je ne puis m'empêcher de présenter à ce sujet quelques réflexions.

Bien souvent déjà l'on a avancé que l'électricité modifie la manière dont les corps simples se comportent sous le rapport chimique, par exemple qu'elle affaiblit ou fait disparaître l'oxi-

dabilité des métaux, etc. Cependant il n'existe pas, à ma connaissance, un seul fait qui mette hors de doute l'exactitude de cette assertion, car, par exemple, ce qu'on appelle la passivité des métaux, produite par des courants voltaïques, peut s'expliquer d'une tout autre manière. Dans l'état actuel de nos connaissances relativement à l'influence de l'électricité sur les corps élémentaires, rien absolument n'autorise, selon moi, à supposer que les propriétés chimiques de ces corps puissent éprouver une modification quelconque, même passagère, de la part de l'électricité ; tout, au contraire, conduit à croire qu'un corps simple, quand il est électrisé et isolé, se comporte, sous le rapport chimique, exactement comme il le fait à l'état ordinaire. Si donc la conclusion des deux savants que j'ai nommés était exacte, la transformation de l'oxigène par l'action de l'électricité présenterait un fait qui serait seul de son espèce, un fait qui ne tendrait rien moins qu'à démontrer la possibilité de transformer une substance en une autre ; car, dans un grand nombre de leurs propriétés chimiques, physiques et physiologiques, l'ozône et l'oxigène diffèrent aussi essentiellement l'un de l'autre que peuvent le faire deux substances hétérogènes.

Il est vrai que la chimie moderne nous a fait connaître une série de faits d'où il résulte que, dans des circonstances données, tel corps qui passe pour simple peut revêtir des états différents ; le soufre en fournit un exemple. Mais, à ma connaissance du moins, cette allotropie n'a pas encore été observée sur un corps élémentaire gazeux ; et la modification allotropique d'un corps n'a pu encore être opérée qu'à l'aide de la chaleur.

On prétend, à la vérité, que le chlore, exposé à l'action de la lumière, est modifié au point de pouvoir ensuite se combiner avec l'hydrogène, même dans l'obscurité. Admettons que l'observation de Draper soit exacte, la nature élémentaire du chlore ne présente nullement le même degré de vraisemblance que celle de l'oxigène, et l'on sait que le chlore peut être aussi bien pris pour un muriate oxigéné que pour un corps simple. Quoi

qu'il en soit, la modification que subirait le chlore exposé à l'influence de la lumière, serait en résumé si peu considérable, qu'elle donnerait à peine lieu à une comparaison avec celle que, selon MM. de la Rive et Marignac, l'oxigène présente dans la même circonstance.

Admettons que l'ozône soit de l'oxigène modifié par l'électricité; il en résulte qu'un volume déterminé d'oxigène parfaitement pur, soumis pendant un temps suffisamment long à l'influence d'une succession d'étincelles électriques, devrait se transformer complétement en ozône, c'est-à-dire subir une modification telle que, si par exemple on le mettait en contact avec une solution d'iodure de potassium, il serait en entier absorbé par elle. Si l'expérience donnait ce résultat, on ne pourrait assurément pas se refuser à admettre l'exactitude de l'hypothèse ci-dessus, quelque extraordinaire, quelque incompréhensible que ce fait dût paraître. Un autre moyen de décider si l'ozône renferme ou ne renferme pas de l'hydrogène, consisterait à faire passer dans un tube chauffé de l'air aussi chargé d'ozône et aussi sec que possible. Si, comme je le pense, l'ozône se décompose dans ce cas en eau et oxigène, on devrait, quand l'expérience aurait lieu sur un volume suffisant d'air, obtenir de l'eau en quantité appréciable. Jusqu'à ce que ces expériences décisives aient été faites, je persiste dans ma manière de voir, et voici d'après quels motifs :

1° L'ozône a une odeur si intense que des quantités inappréciables en poids se font apercevoir à l'odorat.

2° Ces mêmes quantités peuvent bleuir sensiblement la colle d'iodure de potassium.

Il résulte de là qu'une quantité d'eau trop petite pour être accusée par aucun de nos moyens hygroscopiques, peut suffire cependant pour produire avec l'oxigène une quantité d'ozône telle que sa présence soit révélée par l'odorat aussi bien que par la colle d'iodure de potassium.

La conclusion de MM. de la Rive et Marignac repose sur la

supposition que l'oxigène avec lequel ils ont fait leurs expériences était parfaitement dépouillé d'eau. Mais, quoique les chimistes admettent que de l'oxigène humide mis en contact avec de l'acide sulfurique concentré perd toute trace d'eau, il est évident que cette assertion s'appuie uniquement sur le fait que nous ne pouvons, au moyen d'aucune substance hygroscopique connue, démontrer la présence de l'eau dans de l'oxigène qui a été soumis au traitement indiqué ci-dessus. Or il se pourrait encore que, dans ce gaz-là, des traces d'eau eussent échappé à l'action hygroscopique de l'acide sulfurique, et qu'elles fussent cependant suffisantes pour produire avec l'oxigène, sous l'influence de l'électricité, une quantité d'ozône sensible à l'odorat et à la colle d'iodure de potassium. En fait, une hypothèse qui admet que de l'oxigène qui a traversé de l'acide sulfurique concentré peut encore renfermer des traces d'eau infiniment petites, me paraît beaucoup moins hasardée que celle qui fait transformer du gaz oxigène en ozône par le moyen de l'électricité.

Si ma manière de voir est juste, la propriété que possède l'oxigène de produire de l'ozône sous l'influence de l'électricité, nous offrirait un moyen de démontrer dans ce gaz la présence de quantités d'eau qui sont trop petites pour pouvoir être découvertes par aucun autre procédé.

Puisqu'une haute température détruit l'ozône, elle doit aussi, dans l'hypothèse de MM. de la Rive et Marignac, posséder le pouvoir de faire cesser l'état extraordinaire que l'électricité développe dans l'oxigène, et de ramener ce dernier à son état ordinaire. Il se peut qu'il en soit ainsi; mais, à la place de l'hypothèse de mes amis de Genève, il me paraît plus simple et plus conforme à l'état actuel de nos connaissances chimiques d'admettre que l'ozône se décompose en eau et oxigène sous l'action de la chaleur.

Il est, dans la question relative à la nature de l'ozône, une circonstance qui me paraît ne pas devoir être négligée, savoir

que, malgré quelques différences essentielles qui règnent entre l'ozône et l'eau oxidée de Thenard, ces deux substances présentent une grande ressemblance. Toutes les deux elles blanchissent, elles sont décomposées par les mêmes substances organiques, elles transforment en peroxides un grand nombre d'oxides, l'acide sulfureux en acide sulfurique, etc. Cette ressemblance d'action chimique ne pourrait-elle pas faire supposer une ressemblance de composition ?

Qu'on me permette, en terminant, une dernière observation sur la production de l'ozône par l'intermédiaire du phosphore. Mr. Marignac est disposé à croire que dans ce cas aussi l'électricité est la cause de la formation de l'ozône, et que cette électricité se dégage par l'effet de l'action chimique que l'oxigène exerce sur le phosphore. J'ai déjà fait précédemment des expériences à ce sujet, parce que je pensais aussi que l'électricité pourrait bien avoir sa part dans la production chimique de l'ozône. Cependant je n'ai pas réussi à découvrir la moindre trace d'électricité dans l'action du phosphore sur de l'air atmosphérique humide. Or, comme avec les plus fortes décharges de nos machines électriques il se forme des quantités d'ozône infiniment petites, en comparaison de celles que le phosphore produit dans le même temps, je doute beaucoup encore que l'électricité entre pour quelque chose dans la production de l'ozône chimique, d'autant plus que je ne regarde nullement comme démontré que toute action chimique ait pour conséquence un dégagement d'électricité.

Observations du Rédacteur.

MM. Marignac et de la Rive n'ont point prétendu faire une théorie nouvelle en interprétant l'expérience à laquelle Mr. Schœnbein fait allusion. Ils ont simplement voulu exprimer un fait. Ce fait c'est que de l'oxigène parfaitement pur et sec

développant de l'ozône quand il est soumis à une série de décharges électriques, on ne sait à quoi attribuer cet ozône sinon à un état particulier d'activité chimique qui est imprimé à l'oxigène par l'influence d'un courant électrique. Mr. Schœnbein estime que l'oxigène ne peut être complétement dépouillé de vapeurs d'eau. C'est possible ; mais jusqu'ici cependant on avait admis que de l'oxigène tiré du chlorate de potasse purifié et préalablement fondu, était parfaitement pur et sec. Enfin, si c'est à la présence de la vapeur d'eau dans l'oxigène que la formation de l'ozône doit être attribuée, il semble que cette formation devrait être plus considérable et plus rapide quand il y a beaucoup de vapeur d'eau que lorsqu'il y en a très-peu. Or il n'a pas paru à MM. Marignac et de la Rive que l'ozône se formât en plus grande quantité et plus rapidement dans l'oxigène humide que dans l'oxigène sec retiré du chlorate de potasse fondu.

En résumé, l'hypothèse de Mr. Schœnbein est peut-être juste, mais elle repose sur un fait qui a besoin d'être prouvé, savoir la présence de l'eau dans l'oxigène en apparence le plus sec. (R.)

NOTICE SUR UN MODE PARTICULIER DE PRÉPARATION DU SESQUI-FERROCYANURE (ROUGE) DE POTASSIUM, par C.-F. SCHŒNBEIN.

Mes expériences sur l'ozône ont fait voir que cette substance possède, de même que le chlore, la propriété de faire passer à l'état de sesqui-ferrocyanure (rouge) le ferrocyanure (jaune) de potassium. Je me suis servi, il y a peu de temps, de cette propriété de l'ozône pour préparer avec le sel jaune une quantité assez considérable du sel rouge. A cet effet, j'ai mis dans douze grands ballons contenant de l'eau distillée, douze bâtons de phosphore d'un pouce de longueur, de façon qu'une moitié

plongeait dans le liquide, tandis que l'autre restait en contact avec l'air atmosphérique. J'ai laissé le tout dans cet état pendant douze heures, à la température de 20° ; au bout de ce temps l'air renfermé dans les ballons s'est trouvé tellement chargé d'ozône, qu'il avait une odeur semblable à celle du chlore, que de la colle d'iodure de potassium y prenait instantanément une couleur noir-bleu, et qu'une bande de papier de tournesol s'y blanchissait complétement en peu de minutes. Afin d'enlever l'acide phosphorique, j'ai lavé soigneusement les ballons avec de l'eau distillée, puis j'ai transvasé d'un ballon dans l'autre une dissolution du sel jaune, après avoir agité dans chaque vase ce liquide avec de l'air ozonisé. Il est à peine nécessaire de dire que l'ozône de chaque ballon est absorbé presque instantanément par la solution, et que celle-ci change en même temps de couleur. Quand la solution avait perdu la propriété d'absorber l'ozône, elle ne renfermait plus même une trace du sel jaune, ce dernier ayant été transformé en entier en sel rouge, ce dont on avait la preuve en ce que la solution, mélangée avec du nitrate de peroxide de fer, ne donnait plus de précipité bleu. On fit alors évaporer convenablement le liquide de couleur jaune foncé, et on le laissa cristalliser, opération qui donna naissance aux plus beaux cristaux du sel rouge.

On peut juger aisément de la quantité d'ozône qui se forme dans ces circonstances, par le fait que la proportion d'ozône que renferme deux ballons suffit parfaitement pour transformer en sel rouge cinq grammes du sel jaune. La formation du premier de ces sels reposant sur l'élimination d'une partie de potassium dans le sel jaune, il s'ensuit que dans l'action de l'ozône sur une solution du ferrocyanure de potassium, il doit se former, outre le sesqui-ferrocyanure, une autre combinaison alcaline. Je ne puis encore dire quelle est cette combinaison ; mais j'ai des raisons de croire que l'ozône transforme une partie du potassium en un peroxide particulier de cette substance, lequel est soluble dans l'eau et peut subsister à côté du ferrocyanure

rouge. Cette conjecture s'appuie sur le fait que la solution du cyanure jaune, modifiée par l'ozône, exerce une réaction très-alcaline, et que, lorsqu'on la mélange avec une petite proportion d'acide sulfurique étendu, elle colore en noir verdâtre la colle d'iodure de potassium.

Une chose curieuse et que j'ai découverte il y a déjà plusieurs années, c'est que du peroxide de plomb, traité avec une solution de ferrocyanure (jaune), transforme celui-ci en sesqui-ferrocyanure (rouge) avec départ d'hydrate d'oxide de plomb. Cette action paraît également reposer sur la formation d'un peroxide de potassium ; en effet, la solution de cyanure jaune transformée par le peroxide de plomb réagit exactement comme le fait cette même solution traitée avec l'ozône. Ce fait paraît être favorable à l'opinion qui attribue à l'ozône une composition analogue à celle du peroxide de plomb, c'est-à-dire HO_2.

Avant de terminer cette notice, je ne puis m'empêcher de faire observer que la méthode qui, d'après mes expériences, fournit la plus grande abondance d'ozône, consiste à exposer du phosphore à l'action simultanée d'un air stagnant et d'eau, à la température de 20° à 24° C. Mr. Marignac et quelques autres chimistes, cherchant à produire l'ozône avec la plus grande abondance et la plus grande facilité possible, ont fait passer un courant continu d'air atmosphérique sur du phosphore; mais ce qui démontre l'imperfection de ce procédé, c'est que l'excellent chimiste de Genève a dû laisser son appareil fonctionner nuit et jour durant quatre semaines, pour obtenir une quantité d'ozône capable seulement de décomposer deux grammes d'iodure de potassium. La présence de l'ozône dans l'air atmosphérique favorise essentiellement, à ce qu'il paraît, mais d'une manière inconnue, une nouvelle production de cette substance, et c'est ce qui fait que de l'air stagnant fournit plus d'ozône que de l'air en mouvement.

DE LA STRUCTURE DES MÉTAUX PRÉCIPITÉS PAR L'ÉLECTRICITÉ, par Mr. WARREN DE LA RUE. (*Philos. Magaz.*, juillet 1845.)

Les observations suivantes étant le résultat d'une longue série d'expériences sur les applications pratiques des procédés de l'électro-métallurgie, elles seront, je pense, jugées dignes d'être présentées à la Société de Chimie.

Les diverses apparences que présente le dépôt métallique, sont connues de tous ceux qui s'occupent d'électro-métallurgie, et sont distinguées par les noms de plus ou moins cristallines, de malléables, de sablonneuses, de spongieuses, ce dernier état étant produit par un excès de pouvoir dans la batterie, et le premier étant le résultat d'une force trop faible, relativement à celle de la solution sur laquelle on opère. Tous ces dépôts ne sont néanmoins que de simples modifications les uns des autres ; ils sont essentiellement cristallins, même celui qui est malléable; en d'autres termes, celui qui est doué de la plus grande cohésion est très-inférieur en force aux métaux mis en œuvre par les procédés ordinaires. Le dépôt malléable est celui qu'on recherche d'ordinaire; cependant, même avec tout l'art d'un électro-métallurgiste expérimenté, il faut beaucoup de temps pour l'obtenir, vu que la force de la batterie, la température de l'air et par conséquent le pouvoir conducteur des fluides qui entrent dans le circuit, changent constamment les rapports qui doivent exister entre la force décomposante et la résistance de l'électrolyte à être décomposé. Il y a d'autres causes que nous examinerons tout à l'heure, qui concourent aussi à créer ces difficultés, et que nous comprendrons mieux en considérant l'effet que produisent, sur le métal précipité, la forme de la matrice et la nature de sa première surface.

Toute personne au fait de la précipitation des métaux de leurs solutions respectives, au moyen de l'électricité voltaïque, sait fort bien que ces solutions perdent leur métal au cathode d'une manière telle que, si nous plaçons le cathode sur la surface même du liquide, toute action cesse d'avoir lieu après un court espace de temps; le liquide qui a perdu son métal étant spécifiquement plus léger, il ne peut y avoir transport mécanique à la surface du liquide nouveau, et par conséquent la marche de l'opération est arrêtée.

Cet épuisement de l'électrolyte est la cause première des difficultés du procédé.

Si, par exemple, on essaie de produire du métal solide en opérant des dépôts entre deux matrices respectives, placées à droite et à gauche, cette tentative sera immanquablement inutile; les dépôts opposés et les dépôts rapprochés ne se joindront jamais pour former une pièce solide. La cause en est assez évidente, et peut aisément être ramenée à la circonstance signalée de l'épuisement de l'électrolyte; car à mesure que les dépôts opposés se rapprochent, ils rendent la cavité plus petite, et enfin elle est tellement diminuée, que réduite à un espace capillaire elle ne permet pas à l'action de continuer; une cavité contenant le liquide épuisé subsiste seule, et nulle jonction véritable ne peut avoir lieu.

L'expérience suivante prouve d'une manière frappante que la précédente n'est pas simplement un cas de hasard. Je préparai une matrice en taillant dans une plaque de métal des lignes angulaires profondes d'environ un vingtième de pouce, l'angle de l'ouverture étant d'environ 35 degrés. Sur cette pièce je déposai une couche de cuivre épaisse d'environ un huitième de pouce; le dépôt pouvait être regardé comme extrêmement bon, et paraître uniforme à un œil expérimenté, vu qu'il n'y avait plus qu'une légère marque des lignes originelles sur le dos du métal; cependant le cuivre pouvait être brisé avec une grande facilité suivant la direction de chaque ligne;

la fracture paraissait très-unie et très-nette; elle donnait l'idée d'une section opérée intentionnellement plutôt que d'une fracture faite au hasard. Nous avons là un exemple d'un interstice existant non-seulement entre les parois du creux original, mais encore existant à travers la couche épaisse d'un huitième de pouce du métal déposé, ce qui tient à l'incapacité du liquide enfermé de fournir tout le métal au cathode.

Une matrice d'une gravure sur bois présente un bon exemple de l'effet que la forme du moule a sur le dépôt qui s'y opère. Là nous trouvons une grande réunion de sillons très-peu profonds, le revers de ce qui constitue les lignes en relief dans la matrice de bois; ces sillons sont presque entièrement pleins, et cela pour le motif déjà cité, et le dépôt est par conséquent coupé en une foule de petits morceaux qui semblent joints, quoiqu'ils ne le soient pas en réalité, et qui tiennent très-joliment les uns aux autres par la complication de leurs entrecroisements. Ce qu'il y a de plus délicat et de plus difficile à obtenir parfait, c'est l'image du ciel, à cause du grand nombre de lignes droites qu'elle exige dans la gravure. Quoique j'aie choisi pour exemple la copie d'une gravure sur bois comme présentant un cas de la plus grande difficulté, cependant le même effet se produit dans d'autres circonstances; par exemple dans l'enveloppe d'argent d'un vase cylindrique ayant un fond plat; là il existera infailliblement une fissure à l'angle formé par le cylindre et le fond. D'après cela nous voyons la nécessité d'arrondir autant que possible tous les angles sur lesquels nous voulons opérer un dépôt métallique au moyen de l'électricité.

La surface du moule doit nécessairement avoir un effet sensible sur le dépôt, d'autant que nulle surface ne peut être parfaitement polie; de là doit nécessairement résulter que plus les élévations et les dépressions sont graduelles, plus est grande la cohésion du dépôt; une matrice de cire est peut-être l'une des meilleures substances pour y former un dépôt, et une matrice polytype, obtenue en enfonçant une pièce de bois dans du

métal en fusion près de se solidifier, sera l'une des plus mauvaises qu'on puisse avoir, car sur elle nous avons une image de tous les pores du bois; de plus, le métal étant brillant, la surface en est très-raboteuse quand elle est vue au microscope. Quelque petite qu'elle soit, toute déviation du type original a un effet fâcheux sur le dépôt qui en résulte, effet qui devient plus sensible avec la profondeur; mais que celle-ci soit grande ou petite, le résultat est le même, et ne diffère que par la grandeur de l'erreur.

J'ai constaté que tout dépôt électro-métallique a essentiellement la structure d'un cristal. En examinant avec beaucoup de soin au microscope divers dépôts de cette espèce, nous pourrons toujours apercevoir qu'ils consistent en une réunion de cristaux très-minces, plus ou moins parfaitement formés. La structure cristalline y est manifeste, et nous pouvons voir de plus çà et là des groupes de cristaux s'élevant perpendiculairement au-dessus de la surface, à une hauteur considérable. Tels sont les caractères des premières couches; les cristaux, comme dans la cristallisation d'une solution de sel, s'accroissent, et quand même nous pourrions obtenir une surface parfaitement unie pour commencer, nous devrions, d'après la nature même du procédé, obtenir des inégalités, qui ont une grande part à la production des cristaux qui surgissent au-dessus de la surface générale; ces inégalités, d'après l'explication que j'ai déjà donnée, ne peuvent jamais être complétement comblées, et une structure poreuse doit nécessairement en être le résultat; de plus, la cristallisation s'étend latéralement du sommet d'un groupe de cristaux à celui du groupe de cristaux voisin, et l'on voit aisément que çà et là sont enfermés des espaces qui ne peuvent se remplir que dans la supposition que le liquide contenu peut pénétrer dans le métal. La section est une coupure faite avec des ciseaux tranchants, à travers une plaque épaisse d'environ un quarantième de pouce; elle avait les caractères d'un dépôt *moins cristallisé*, et paraissait à l'œil

nu parfaitement polie et compacte. Je répète encore que le dépôt électro-métallique est essentiellement cristallin dans sa structure ; il n'est en fait qu'un tissu de cristaux qui s'entrelacent sans adhérer les uns aux autres. Nous pouvons diminuer le pouvoir de la batterie au point de vue de la quantité de sel métallique contenue dans l'électrolyte, de façon à obtenir, au moyen de circonstances favorables, des cristaux grands et bien formés. Nous pouvons augmenter le pouvoir, et produire ainsi des cristaux avec une rapidité de plus en plus grande, et par conséquent des dimensions de plus en plus petites, et une formation toujours moins parfaite ; finalement nous parviendrons à un point tel, pour la quantité d'électricité transmise, que si nous augmentons encore cette quantité, l'électrolyte ne peut pas être assez promptement renouvelé à la surface du cathode, et nous aurons de plus grands espaces restés vides, qui nous donneront ainsi le dépôt sablonneux. Enfin, nous pouvons l'augmenter jusqu'à arriver à un point tel que le métal prend la forme d'un dépôt spongieux, qui n'en est pas moins formé de cristaux. Les sillons ou lignes qu'on voit souvent sur le dos des dépôts électriques, placés verticalement dans le vase, plus particulièrement dans ceux où il y a des angles aigus, qui sont proéminents hors de la matrice, sont produits par ces points qui mettent un obstacle au flux du liquide épuisé partiellement, et le forcent à courir en petits ruisseaux détachés ; lorsque cela a lieu, le dépôt se forme plus lentement que lorsque le liquide est plus fort, nous aurons par conséquent un creux ou une cavité qui reste permanente. Pour produire un mouvement du liquide dans les vases où s'opère la précipitation, on fait courir au fond un courant constant de liquide frais, tandis que le liquide épuisé flotte à la surface ; le courant qui en résulte, en rencontrant à la surface du dépôt électrique le fluide supérieur, produit des tourbillons, et change les sillons verticaux en une série de lignes irrégulièrement creusées, qui présentent les mêmes inconvénients, de sorte qu'on ne peut se servir de ce procédé.

Un dépôt électrique d'argent qui m'a été fourni avec bonté par Mr. Napier, et qui a reçu de lui le nom d'*éponge d'argent* à cause de son apparence, présente, quand on le regarde au microscope, une magnifique réunion de cristaux, semblables aux ramifications d'un arbre, et nous offre un cas très-rare de cristallisation dans les dépôts électro-métalliques.

Revenons-en à une copie électrique d'une gravure sur bois. On trouve, en regardant avec le microscope, et on pourrait le conclure des remarques précédentes, que chaque ligne a un vide au milieu ; en fait ces lignes sont très-creuses, et présentent l'apparence des cavités provenant de la cristallisation de pains de sucre faits par des confiseurs, et cela nous montre l'avantage qu'il y a à étamer comme il faut le métal aussitôt qu'on l'a enlevé de la matrice ; l'étain s'insinue dans un grand nombre des pores du métal, et en lie solidement les unes aux autres les diverses parties. Avec l'aide d'un peu de chloride de zinc, l'étamage s'effectue aisément, et peut s'opérer sans déranger la structure quand on emploie la lime.

Il y a un phénomène très-curieux, lié avec l'emploi des planches à graver obtenues par l'électricité ; c'est l'impossibilité où l'on est de s'en servir pour imprimer avec du vermillon (sulfure de mercure), ce qui n'a pas lieu lorsqu'on se sert de planches faites avec du cuivre préparé par les procédés ordinaires.

Quand une planche obtenue par l'électricité est recouverte d'encre de vermillon préparée pour l'impression, et qu'on a tiré quelques épreuves, le vermillon se noircit ; si l'on continue l'opération, le cuivre commence à devenir blanc ; enfin le mercure précipité à la surface se trouve en quantité telle qu'il empêche l'adhérence de l'encre.

Je suis porté à croire que la nature poreuse et raboteuse de la planche obtenue par l'électricité, est la seule cause qui fait que le vermillon est décomposé, et que la pureté du cuivre n'y est absolument pour rien.

Dans la plupart des remarques précédentes, j'ai fait allusion

à des dépôts de cuivre; mais je désire que l'on sache qu'elles s'appliquent également à l'or, à l'argent, ou à d'autres métaux. Je crois que, quand bien même les procédés électro-métallurgiques sont une source de grand progrès pour les arts, il y a cependant des usages auxquels ils ne peuvent s'appliquer, comme par exemple de recouvrir un métal avec un autre, quand le second est destiné à protéger le premier de l'action de certains fluides, dans toutes les circonstances où l'on a besoin de la précaution de fondre peu à peu et partiellement le métal qui sert d'enveloppe.

La production de pièces de vaisselle ornées, et l'argentage et le dorage de ces objets, qui ne sont pas exposés à un frottement trop fort, ne présentent pas ces mêmes inconvénients. Le platine et le palladium devront être travaillés et forgés, si jamais on parvient à les obtenir, par les procédés électro-métallurgiques, pour la vaisselle ou pour d'autres usages analogues. On a proposé de recouvrir par ce procédé le fond des vaisseaux d'une couche de cuivre; laissant de côté la grande difficulté d'effectuer cette opération sur une grande échelle, j'estime que le cuivre serait beaucoup trop cassant pour un pareil usage.

Des copies sur cuivre, des gravures sur acier, ou des gravures sur cuivre, ne sont pas, on le sait, à beaucoup près aussi durables que les gravures originales; cependant dans quelques cas on peut les employer avec avantage, non pas toutefois là où un grand nombre d'exemplaires peuvent être nécessaires, comme par exemple dans l'impression des billets de banque. En résumé, les procédés électro-métallurgiques sont une riche acquisition pour les arts, mais il faut en avouer les défectuosités, pour ne pas les appliquer à des usages auxquels ils ne sauraient convenir.

NOUVEAU CAS DE ROTATION DE L'AIGUILLE MAGNÉTIQUE, observé par le professeur RAGONA de Palerme, et décrit dans une lettre adressée au professeur de la Rive.

Mr. Ragona a observé que si l'on place une aiguille aimantée de déclinaison sur une pointe métallique isolée, et qu'on l'entoure d'un fil de cuivre circulaire disposé dans le même plan horizontal que l'aiguille, celle-ci prend un mouvement de rotation quand on la met en communication avec le conducteur d'une machine électrique en action, pendant que le fil métallique circulaire communique avec le sol. Le sens du mouvement est inverse si l'aiguille ou son support communiquent avec le sol, tandis que le fil circulaire isolé communique avec le conducteur de la machine. La rapidité de la rotation dépend de la vitesse avec laquelle on fait tourner le disque de verre de la machine électrique, et de la puissance de cette machine.

Quant au sens de la rotation, lorsque l'aiguille communique avec le conducteur de la machine; c'est-à-dire lorsque l'électricité positive s'échappe par ses extrémités, ce sens est tel que l'extrémité sud de l'aiguille tourne du nord à l'ouest. Quand c'est l'électricité négative qui sort des extrémités de l'aiguille, la rotation a lieu du nord à l'est, relativement à l'extrémité sud.

Nous reviendrons sur cette expérience; remarquons seulement qu'elle a du rapport avec celle du moulinet électrique, ainsi qu'avec celle par laquelle Mr. Ampère obtenait la rotation d'un barreau aimanté sur son axe, au moyen d'un courant qui sortait du barreau lui-même. Néanmoins il n'y a pas une analogie complète entre l'expérience de Mr. Ragona et celles que nous venons de rappeler; il faut donc étudier encore la première pour en démêler la cause. (A. DE LA RIVE.)

Avis aux Abonnés de la *Bibl. Univ.* pour 1845.

Ils pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me de la nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à 30 fr. chacune, et les années 1841 à 1844 pour 32 fr. chacune, *non compris les frais de port.*

AVIS.

Les quatre premiers volumes des *Archives de l'Électricité* (années 1841 à 1844) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

DE GENÈVE.

ARCHIVES

DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,

Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

N° 19. (Tome V. — 1845.)

Publié le 15 novembre 1845.

ON SOUSCRIT A GENÈVE,

AU BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE

CHEZ B. GLASER,

Rue de la Pélisserie, *n°* 133.

PARIS,

CHEZ ANSELIN, SUCCESSEUR DE MAGIMEL,

Rue Dauphine, n. 36.

1845

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraissent tous les deux mois ; les six cahiers bimestriels forment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pages environ, même format et caractère que la Bibliothèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l'année 1845) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs.
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Pour Genève et la Suisse, au **Bureau de la Bibliothèque Universelle**, chez **B. Glaser**, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.

Pour Paris et la France, chez **Anselin**, successeur de **Magimel**, rue Dauphine, n° 36, à Paris.

Pour Turin et le Piémont, chez **Bocca**, libraire, à Turin.

Pour Milan et le R^e Lombard-Vénitien, chez **Dumolard**, à Milan.

Pour Rome et les Ét. Rom., chez **Capobianchi**, employé des Postes, à Rome.

Pour le reste de l'Italie, chez **Piatti**, libraire, à Florence.

Pour la Hollande, chez **Delachaux**, libraire, à Amsterdam.

Pour l'Allemagne et le Nord, chez **Michelsen**, libraire, à Leipsick.

Pour la Grande-Bretagne, chez **Baillière**, à Londres.

SUR LES LOIS DE LA CHALEUR DÉGAGÉE PAR LE COURANT VOLTAÏQUE, ET SUR CELLES QUI RÉGISSENT LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉLECTRICITÉ DANS LA PILE, par le chevalier J.-D. Botto. (Extrait des *Mémoires de l'Académie des Sciences de Turin*, tome VIII, série II.)

Première Partie.

La chaleur dégagée par le courant voltaïque lors de son passage à travers les corps a été, avec raison, l'objet de nombreuses et savantes recherches: la liaison intime d'un tel phénomène avec les causes qui président au développement de l'électricité dans la pile, était propre en effet à fixer l'attention des physiciens; et nul doute que la découverte des rapports qui existent entre ces causes et les différentes manifestations qui en dépendent, ne puisse conduire à la solution de plusieurs questions importantes de physique corpusculaire.

Une telle considération m'a engagé à entreprendre de mon côté quelques expériences sur le même sujet, en commençant d'abord par l'examen de ce qui se passe, lorsque l'excitation calorifique se réalise dans les conducteurs métalliques.

Passage du courant à travers les métaux.

On sait que MM. Joule et E. Becquerel, après une suite d'ingénieuses expériences ayant pour but de découvrir les lois de la chaleur dégagée par le courant dans les conducteurs métalliques, crurent pouvoir établir, que cette chaleur est proportionnelle au carré de l'intensité électrique, multiplié par la ré-

sistance du conducteur. Les nouveaux résultats auxquels je suis parvenu, et dont j'ai l'honneur de rendre compte à l'Académie, m'ont paru non-seulement favorables à une telle conclusion, mais propres à lui donner ce degré de généralité, qui forme le véritable caractère d'une loi physique.

La méthode que j'ai suivie, aussi simple que directe pour l'objet que j'avais en vue, est fondée sur le principe connu de calorimétrie adopté par MM. Lavoisier et Laplace dans leurs recherches sur la chaleur spécifique. En voici les dispositions principales.

Un fil de platine d'environ $0^{m},33$ de diamètre, ayant une longueur de 60 centim., a été annexé par ses deux bouts aux extrémités de deux grosses tiges de laiton, et par son milieu à une troisième tige plus longue que les précédentes, de manière que les trois tiges réunies en faisceau, sans se toucher, tenaient tendues à peu près parallèlement les deux moitiés du fil : les trois tiges ayant été assujetties à un bouchon de sureau qu'elles traversaient, furent introduites dans un tube de verre de quelques centimètres de diamètre, et ajustées avec cette enveloppe au centre de la capacité intérieure du calorimètre au moyen de trois bandes métalliques, qui, partant de leurs extrémités et se repliant convenablement autour du bord de l'appareil, se prolongeaient en dehors, et servaient à mettre le fil de platine en relation avec le rhéomoteur. Il est superflu de remarquer que ces appendices avaient été préalablement revêtus de toile cirée, et qu'au reste toutes les précautions exigées par la circonstance, ayant pour but l'écoulement normal de l'électricité dans le fil soumis à l'expérience, avaient été soigneusement prises.

Maintenant il est facile de voir que, moyennant ces dispositions, le courant pouvait : 1° envahir le fil en se partageant dans ces deux moitiés; 2° parcourir une seule de ces moitiés; 3° longer le fil dans toute son étendue sans se diviser : il suffisait pour cela d'établir les communications tantôt par les tiges ou appendices annexés aux deux extrémités de ce fil, tantôt par

une seule de ces tiges et la troisième annexée au centre du fil, tantôt enfin par cette dernière et les bouts réunis des deux autres. Or, dans ces trois cas, la résistance relative opposée au courant par le fil de platine était évidemment comme les nombres 4, 2, 1; on n'avait donc plus qu'à soumettre successivement celui-ci aux effets d'excitation thermo-électrique, par les trois modes ci-dessus indiqués, en employant des courants d'intensités différentes, pour pouvoir apprécier la double influence soit de cette intensité, soit de la résistance du conducteur.

A cette fin j'ai employé un rhéomoteur de Grove, formé de 12 ou d'un moindre nombre de couples, dont je variais la puissance, soit par des changements de liquides, soit en insérant dans le circuit une résistance quelconque. L'énergie du courant était donnée par le voltamètre dont le produit recueilli dans un tube gradué était, comme de raison, réduit à la pression et à la température normales de $0^{m},76$ et 0°; et pour ce qui a trait aux mesures calorimétriques, la grande constance du rhéomoteur employé permettait soit de recueillir le produit total de la fusion pendant toute la durée du passage électrique, soit de ne le recueillir qu'à écoulement constant et uniforme, pendant un certain nombre de minutes. C'est ce dernier procédé que j'ai préféré ; l'eau de fusion étant d'ailleurs reçue dans un tube gradué, il était aisé d'en calculer la quantité à chaque expérience. Le tableau ci-joint renferme une partie des résultats obtenus d'après ce mode d'expérimentation.

EXPÉRIENCES.

Nombre des couples.	Eau de fusion en centim. cubes a	Durée de l'écoulement en 1'' b	Gaz mélangé en centim. cubes c	Durée du dégagement en 1'' d	Rapport $\frac{ad^2}{bc^2}$
		Première série.			
12	83,00	15	20	83	95,29
6	15,00	10	10	80	96,00
12 { acides faibles	34,50	15	20	128	94,20
		Deuxième série.			
12	52,00	20	10	42	45,86
6	19,00	20	10	70	46,55
3	5,50	10	10	90	44,55
		Troisième série.			
12	34,50	15	20	63	22,99
12 { acides pl. fort	38,50	5	20	35	23,58
6	18,00	10	20	76	25,99

Or, il est très-facile de reconnaître, par les nombres consignés dans la sixième colonne, 1° que le rapport numérique existant entre la chaleur dégagée par le courant électrique dans un même conducteur métallique, et le carré de l'intensité de ce courant, demeure constant quelle que soit cette intensité; 2° qu'un tel rapport est constamment proportionnel à la résistance du conducteur soumis à l'excitation thermo-électrique : en effet, la valeur de ce rapport dans les trois séries d'expériences qu'offre le tableau, est donnée en moyenne par les

nombres 95,16 ; 45,68 ; 24,18 ; or ces nombres sont évidemment et très-approximativement comme les suivants 4, 2, 1, qui, comme nous avons vu plus haut, répondent aux résistances relatives du fil soumis à l'expérience.

Si maintenant on combine ces résultats théoriques avec la formule qui exprime l'intensité du courant voltaïque, conformément aux principes que j'adopte de la théorie chimique de la pile, et à celui de l'action électrolytique définie, on parvient à exprimer aussi analytiquement la chaleur excitée par le courant dans un fil résistant, en fonction des éléments divers dont l'influence complexe doit être regardée comme la cause physique d'un tel phénomène.

Pour cela soit i l'intensité du courant, r la résistance du fil conducteur, w la chaleur dégagée, on aura

$$w = i^2 r\,;$$

mais d'une autre part

(1) $$i = \frac{\lambda \varepsilon \sigma z}{\lambda z + \varepsilon \sigma r}\,;$$

donc en substituant

(2) $$w = \left\{ \frac{\lambda \varepsilon \sigma z}{\lambda z + \varepsilon \sigma r} \right\}^2 r,$$

où z est le nombre des couples du rhéomoteur, λ un coefficient constant dépendant, comme nous le verrons plus loin, de la constitution de l'appareil, savoir de la nature des forces électrolysantes ; ε l'action électrolytique relative à l'unité de temps et à l'unité de surface active dans chaque couple, lorsque la résistance extérieure (savoir de la chaîne métallique) est nulle ou censée nulle ; enfin σ l'étendue de la surface active de chaque couple.

Si actuellement on différentie par rapport à r l'équation (2) en égalant à 0, on aura

(3) $$\frac{dw}{dr} = 0 = \lambda z - \varepsilon \sigma r,$$

d'où

$$(4) \qquad r = \frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma},$$

$$(5) \qquad i = \frac{\varepsilon\sigma}{2},$$

et

$$(6) \qquad w_m = \frac{\lambda\varepsilon\sigma z}{4};$$

résultats qui renferment évidemment les théorèmes suivants :

1° Le maximum de chaleur dégagée par le courant qui émane d'un rhéomoteur donné dans un fil métallique réunissant ses pôles, se vérifie lorsque la résistance du fil est égale à celle du rhéomoteur (4).

2° L'intensité du courant excitateur lors d'un tel maximum, résulte la moitié de son intensité limite, savoir de l'intensité qui répond au cas d'une résistance extérieure nulle (5).

3° Le maximum de chaleur est exprimé soit par la moitié de l'action électrolytique actuelle, soit par le quart de l'action électrolytique limite, savoir de la quantité d'atomes pondérables sur lesquels se porte l'électrolysation immédiate lorsque la résistance extérieure est nulle, multiplié par un coefficient dépendant de la nature des forces électrolysantes (6).

Si l'on suppose que $\sigma z = s$, s étant une constante, on obtient en substituant dans l'équation (2),

$$w = \left\{ \frac{\lambda\varepsilon s z}{\lambda z^2 + \varepsilon s r} \right\}^2 r,$$

et différentiant, et égalant à 0,

$$\frac{dw}{dr} = \frac{dw}{dz} = \frac{dw}{d\sigma} = 0 = \varepsilon s r - \lambda z^2,$$

d'où

$$r = \frac{\lambda z^2}{\varepsilon s},$$

$$i = \frac{\lambda \varepsilon s}{2z},$$

et

$$w_{m} = \frac{\lambda \varepsilon s}{4} = \frac{\lambda \varepsilon \sigma z}{4}.$$

D'où il suit 1° que le maximum de chaleur développé dans la chaîne métallique par le courant qui émane d'un rhéomoteur, est indépendant de la manière dont on peut partager une même surface active donnée en un nombre quelconque de parties égales, pour en former un pareil nombre de couples ; 2° que le maximum de chaleur, tout en exigeant que la résistance de la chaîne métallique soit équivalente à celle du rhéomoteur, suppose aussi qu'elle suive la raison directe du carré du nombre des parties égales dans lequel la surface active totale se partage.

Passage du courant à travers les liquides.

Si on admet, avec Mr. Joule, qu'une loi analogue préside à l'excitation calorifique dans les conducteurs liquides et dans les métaux, la formule exprimant la chaleur totale que dégage le courant dans toute la chaîne galvanique, lorsque nul couple passif ou à électrodes homogènes préparé avec un électrolyte quelconque se trouve inséré dans le circuit, serait la suivante :

$$w = \left\{ \frac{\lambda \varepsilon \sigma z}{\lambda z + \varepsilon \sigma r} \right\}^2 \left\{ \frac{\lambda z}{\varepsilon \sigma} + r \right\}.$$

Or il est aisé de voir que cette expression se réduit à celle-ci

$$w = i\lambda z,$$

ce qui démontre :

Que la chaleur totale due à l'excitation électrique est proportionnelle à la consommation volta-électrique actuelle du rhéomoteur, c'est-à-dire à la quantité d'atomes pondérables électrolysés, multipliée par le coefficient λ.

Si donc l'on désigne par w' et w'' les deux portions de cette chaleur totale dégagée 1° dans la chaîne galvanique, 2° dans le rhéomoteur, on aura

$$\frac{w'}{w''} = \frac{\varepsilon\sigma r}{\lambda z}.$$

Il suit de là 1° que, dans le cas du maximum de chaleur dégagé dans la chaîne métallique, cette chaleur se trouve être égale à celle qui se dégage dans le rhéomoteur ; 2° que la somme de ces deux portions de chaleur est égale à la moitié de l'action électrolytique ou consommation qui aurait lieu dans l'appareil, dans le cas d'une résistance extérieure nulle, multipliée toujours par le coefficient λ.

Il est bon d'observer que l'existence d'un tel coefficient dépendant, comme on verra, des forces primordiales qui président à l'électrolysation et à toutes les autres manifestations de la pile, prouve la part d'influence que doit exercer sur ces manifestations la nature des mêmes forces, ainsi que M. de la Rive l'avait conclu et annoncé depuis longtemps ; conclusion assez rationnelle d'ailleurs, lorsqu'on part du principe de l'origine chimique du courant.

L'élément dont il s'agit répondrait évidemment à ce qu'on nomme force électromotrice dans la théorie du contact ; mais, par suite de la loi de Faraday, il s'identifie avec la résistance absolue du couple, qui en serait indépendante dans cette théorie.

Supposons maintenant qu'un électrolyte soit inséré dans la chaîne galvanique, comme c'est le cas lorsque le voltamètre en fait partie : en partant toujours du principe qu'une même loi régisse le phénomène d'excitation calorifique, on aurait pour la chaleur totale dégagée dans le circuit par le courant qui émane d'un rhéomoteur d'un nombre n de couples

$$w = i^2 \left\{ \frac{(\lambda + k)n}{\varepsilon'\sigma} + r \right\} = i \{ \lambda + k \} n ;$$

et pour ce courant

$$i = \frac{(\lambda + k)\, n\varepsilon'\sigma}{(\lambda + k)\, n + \varepsilon'\sigma r};$$

ε' exprimant l'énergie de l'action électrolytique relative à l'unité de surface lorsque $r = 0$.

On voit que les deux quantités de chaleur $w' = ikn$, $w'' = i\lambda n$ qui se rapportent 1° à l'électrolyte, 2° aux autres parties de la chaîne galvanique, sont entre elles dans le rapport des nombres k et λ, qu'on peut déterminer directement.

On peut supposer que n étant le nombre de couples strictement nécessaire à l'électrolysation, un autre nombre de couples $z - n$ soit ajouté au rhéomoteur : en désignant toujours par ε l'énergie de l'action électrolytique limite, lorsque nulle résistance et nul électrolyte ne se trouvent insérés dans le circuit, on trouve aisément que les deux quantités de chaleur ci-dessus seraient exprimées alors par

$$w' = ikn,$$

$$w'' = i\lambda z,$$

expressions identiques aux précédentes lorsque $z = n$.

Deuxième Partie.

Il me reste à exposer, dans cette seconde partie, les raisons qui m'ont conduit à adopter dans les précédents calculs la formule (1) qui leur a servi de base.

Ces raisons, tirées de l'expérience, se résument dans l'accord parfait qui existe entre les déductions théoriques de cette formule, et les différentes manifestations de la pile.

Parmi les résultats plus ou moins connus où un tel accord se réalise, il faut placer en première ligne les suivants :

1° La grandeur du courant donné par un rhéomoteur uniformément constitué atteint son maximum lorsque la résistance

extérieure, savoir celle de la chaîne métallique est ou peut être censée nulle : cette grandeur limite diminue d'une manière asymptotique lorsque la résistance extérieure augmente indéfiniment, et devient nulle lorsque la résistance est très-grande.

2° La diminution relative que souffre le courant limite ou initial par suite d'une résistance extérieure, est proportionnelle au rapport entre cette résistance et la résistance totale du circuit galvanique.

Au point de vue électro-chimique, la résistance d'un couple est une quantité réciproquement proportionnelle à l'action électrolytique : on aurait donc, en adoptant les notations précédentes, la proportion

$$\varepsilon\sigma - i : \varepsilon\sigma :: r : r + \frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma},$$

qui donne immédiatement la formule fondamentale

$$i = \frac{\lambda\varepsilon\sigma z}{\lambda z + \varepsilon\sigma r} \quad (1).$$

Il est facile de voir :

1° Que si l'on fait $r = 0$, et $r = \infty$, on obtient $i = \varepsilon\sigma$ et $i = 0$.

2° Que si la grandeur des couples et la résistance r varient en raison inverse l'une de l'autre, le rapport $\frac{i}{\varepsilon\sigma}$ entre le courant actuel et sa valeur limite demeure constant.

3° Que si z et σ augmentent proportionnellement, le courant i augmente de même, tandis qu'il demeure constant, si la résistance r et le nombre des couples varient dans le même rapport.

4° Qu'enfin si $r + \frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma}$ devient un multiple de $\frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma}$, le courant limite est un pareil multiple du courant actuel.

Mr. Ohm nomme longueurs réduites du rhéomoteur et du

circuit les quantités $\frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma}$, $\frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma} + r$: dès lors la formule (1) peut se traduire ainsi : la grandeur du courant est égale à sa valeur limite multipliée par le rapport entre la longueur réduite de la pile et celle de la chaîne galvanique. Elle renferme aussi le théorème suivant : deux courants qui émanent du même rhéomoteur, sont réciproques aux longueurs réduites de la chaîne où ils circulent. Car faisant $\frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma} = \rho$ et $\frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma} + r = R$, on a $i = \frac{\varepsilon\sigma\rho}{R}$, et pour un autre courant $i' = \frac{\varepsilon\sigma\rho}{R'}$, d'où $\frac{i}{i'} = \frac{R'}{R}$.

Voici maintenant par quelles expériences j'ai pu constater séparément tous ces résultats théoriques, relatifs à l'influence qu'exercent sur la valeur de i les éléments divers qui entrent dans son expression.

Un fort couple de Grove de forme cylindrique a été partagé en zones horizontales d'égale hauteur, et mis en relation avec un galvanomètre à une seule aiguille, dont la spirale était remplacée par un seul gros fil traversant le cadran. Les rhéophores étaient aussi de gros fils, capables de décharger toute l'électricité du couple, même préparé avec de forts acides.

Ayant d'abord versé assez de liquide dans les vases du couple pour en élever le niveau à la hauteur de la première zone, je fixai le point du cadran où l'aiguille s'arrêtait, toutefois après avoir introduit dans le circuit un fil de dérivation parfaitement égal en longueur et en diamètre au fil galvanométrique, au moyen de cuvettes à mercure où venaient plonger les extrémités des deux fils. Le courant mesuré par le galvanomètre était ainsi évidemment égal à la moitié du courant total. Supprimant alors le fil de dérivation, j'introduisis dans le circuit, au moyen d'un rhéostat analogue à celui de Mr. Wheatstone, la longueur du fil résistant mesurée par le nombre de tours capable de faire rétrograder l'aiguille (qui avait naturellement

marché en avant par la suppression susdite) jusqu'au point du cadran où elle s'était fixée, en tenant compte de cette longueur.

J'ai opéré de même après avoir successivement doublé, triplé, etc., la surface active par de convenables additions de liquide, déterminant à chaque fois la résistance capable de réduire encore à moitié les courants du couple ainsi agrandi, et j'obtins les résultats suivants :

Surface active.	Nombre des tours.
1	68,20
2	52,00
3	40,00
4	26,00
5	12,50

Ces expériences, relatives à l'influence de la surface, sont évidemment conformes aux déductions théoriques de la formule fondamentale (1). En effet on voit que, pour réduire à moitié le courant i, il faut que r soit égal à $\frac{\lambda z}{\varepsilon\sigma}$, on a $\frac{\lambda}{\varepsilon\sigma}$ pour un seul couple.

Il est bon d'observer, que pour l'exactitude du procédé j'avais fait construire une mire indépendante du galvanomètre, composée de deux fils de cocon verticalement tendus et mobiles dans le sens horizontal, moyennant des vis de rappel; j'avais en outre annexé à la pointe nord de l'aiguille, qui avait une longueur de 15 centim., un petit anneau de papier blanc perpendiculaire à son axe, et traversé par un trait noir vertical passant par cet axe. On conçoit que si, l'aiguille étant fixée, on conduisait un des fils de cocon mobiles à coïncider en même temps avec le trait noir et avec le fil de suspension, la position de l'aiguille pouvait être censée déterminée avec toute la précision désirable.

Par la même méthode de dérivation, après avoir réduit de moitié, au moyen du rhéostat, le courant initial d'un couple de Grove, je le subdivisai encore en introduisant de nouveau le fil de dérivation, le supprimant ensuite après avoir fixé le

point où s'arrêtait l'aiguille, et enfin ajoutant le nombre de tours nécessaire pour rappeler celle-ci au même point. Réduisant ainsi successivement le courant à la moitié, au quart, au huitième, etc., de sa grandeur primitive, et, tenant compte des résistances correspondantes, je parvins aux résultats suivants :

Intensités du courant à réduire.	Nombre des tours successivement ajoutés.	Nombre total des tours.
1	10,20	10,20
1/2	22,00	32,20
1/4	41,50	73,70
1/8	80,00	153,70

J'ai aussi effectué le partage du courant d'un seul couple en 2, 3, 4, etc., parties, employant successivement 1, 2, 3 fils de dérivation parfaitement égaux à celui du galvanomètre, et déterminant à chaque partage la résistance capable d'opérer une diminution correspondante du courant, savoir, de le réduire à la moitié, au tiers, au quart de son intensité limite. Pour cela je n'avais évidemment qu'à fixer d'abord le point où l'aiguille s'arrêtait, à supprimer ensuite le fil ou les fils de dérivation, et à insérer enfin, par le rhéostat, une résistance capable de faire rétrograder l'aiguille jusqu'à ce point.

Or, voici les nombres auxquels je suis parvenu dans cette nouvelle série d'expériences.

Nombre des fils de dérivation.	Intensité du courant réduit.	Nombre des tours.
1	1/2	10,50
2	1/3	20,50
3	1/4	31,20
4	1/5	43,00

Ces résultats, ainsi que les précédents, sont bien une déduction manifeste de la formule fondamentale (1), qui donne $i = \frac{\varepsilon\sigma}{n+1}$, lorsque $r = \frac{n\lambda z}{\varepsilon\sigma}$.

Voici maintenant comment j'ai opéré pour constater l'influence relative au nombre des couples.

Ayant disposé en série six couples de Grove parfaitement identiques, d'environ 8 décimètres carrés de surface active, je déterminai successivement, au moyen du rhéostat, la résistance nécessaire pour réduire de moitié le courant donné par 6, 5, 4, etc., de ces mêmes couples. Les résultats que j'obtins furent les suivants :

Nombre des couples.	Nombre des tours.
6	69,80
5	57,20
4	46,00
3	35,50
2	22,00
1	12,00

Ainsi, conformément aux déductions de la théorie, le nombre des tours, savoir la résistance par laquelle l'intensité limite du courant est réduite à la moitié de sa valeur primitive, croît comme le nombre des couples.

Pour compléter la démonstration expérimentale de la formule en question, une dernière série d'expériences était indispensable. Ayant inséré le voltamètre dans le circuit, j'ai opéré successivement sur le courant donné par un nombre variable de couples réunis en série, en déterminant : 1° le gaz dégagé par ce courant ; 2° le nombre de tours nécessaire pour rendre égal à celui-ci le courant d'un couple de même nature, dont la grandeur limite eût avec celle du courant mesuré au voltamètre un rapport simple connu. Pour cela, après avoir noté la quantité de gaz dégagée et fixé le degré de déviation de l'aiguille, je supprimai le courant en le remplaçant par celui du couple unique préalablement disposé pour l'expérience, que je partageai par un ou plusieurs fils de dérivation, de manière que ce courant, ainsi affaibli dans le fil galvanométrique, exigeât une nouvelle addition d'acide pour produire une déviation égale à la précédente. Cette condition remplie, j'éloignai les fils de dérivation, et ensuite je rappelai l'aiguille (qui dans cette suppression avançait naturellement) à sa première position, rédui-

sant convenablement le courant par le rhéostat. Il est évident que le courant réduit, marqué alors par l'aiguille, égalait à la fois le courant primitif mesuré par le voltamètre, et le courant limite du couple soumis à l'expérience divisé par le nombre des fils de dérivation augmenté de l'unité.

Dans les expériences qu'offre le tableau ci-joint, on n'a dû employer qu'un seul fil de dérivation ; ainsi le courant réduit était ici la moitié du courant limite.

Nombre des couples.	Gaz mélangé en centim. cubes.	Temps en 1''.	Nombre des tours a	Gaz rapporté à 60''. b	Produits ab
2	20,00	58	70,00	19,31	1351,70
3	51,50	90	40,00	34,34	1373,60
4	49,00	60	29,50	49,00	1445,50
6	68,50	60	22,00	68,50	1507,00

Ces résultats prouvent : 1° que la valeur de r, qui dans la formule relative à un seul couple

$$i = \frac{\lambda \varepsilon \sigma}{\lambda + \varepsilon \sigma r}$$

rend $i = \frac{\varepsilon \sigma}{2}$, est réciproque à l'intensité limite.

2° Que le coefficient λ ne change pas pour des changements opérés soit dans l'étendue de la surface active, soit dans le degré de concentration des acides dont il est chargé.

3° Que ce coefficient, absolument indépendant de la quantité $\varepsilon\sigma$ calculée en nombres d'équivalents, doit affecter le numérateur de l'expression générale de i, afin qu'on ait toujours $i = \varepsilon\sigma$ pour $r = 0$, quelle que soit d'ailleurs la valeur de $\varepsilon\sigma$, ou l'intensité galvanométrique initiale du couple.

Ces résultats permettent, dans les recherches analogues aux précédentes, et dans la détermination du coefficient λ pour les différentes combinaisons voltaïques, d'employer et de comparer des couples d'intensité quelconque.

Pour cela on n'a qu'à réduire les deux couples à une même intensité galvanométrique, et à déterminer ensuite la résistance capable soit de réduire à moitié, soit de diminuer d'une même quantité les deux courants : cette résistance sera proportionnelle au coefficient cherché.

En effet de ce que

$$\frac{\lambda\varepsilon\sigma}{\lambda + \varepsilon\sigma r} = \frac{\lambda'\varepsilon'\sigma'}{\lambda' + \varepsilon'\sigma' r'},$$

on ne peut avoir

$$\frac{\lambda\varepsilon\sigma}{\lambda + \varepsilon\sigma r + \varepsilon\sigma\rho} = \frac{\lambda'\varepsilon'\sigma'}{\lambda' + \varepsilon'\sigma' r' + \varepsilon'\sigma'\rho'},$$

sans que

$$\frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{\rho}{\rho'}.$$

Voici quelques-unes de ces déterminations relatives aux combinaisons suivantes :

Elément négatif.		Elément positif.		
Platine	acide nitrique	Zinc	acide sulfurique	26,40
id.	id.	Etain	id.	23,86
id.	id.	Fer	id.	14,50
id.	id.	Cuivre	id.	6,12
id.	acide sulfurique	Zinc	id.	10,50
id.	id.	Etain	id.	9,70
id.	id.	Fer	id.	8,90
id.	id.	Cuivre	id.	3,75
Fer	sulf. de fer	Zinc	id.	4,57
Cuivre	sulf. de cuivre	id.	id.	12,96

Si maintenant l'on considère ces nombres dans leur signification physique, on verra aisément qu'ils répondent proportionnellement aux résistances nécessaires pour que des courants égaux ou rendus tels, qui émanent de couples différemment constitués, subissent une même diminution. Ils expriment aussi les intensités relatives qu'acquièrent ces mêmes courants, lorsqu'une résistance très-grande est insérée dans le circuit, quelle que soit d'ailleurs l'intensité originaire de ces courants.

En effet l'on voit que

$$i = \frac{\lambda\varepsilon\sigma}{\lambda + \varepsilon\sigma r},$$

donne $i = \frac{\lambda}{r}$, lorsque r y devient très-grand par rapport à $\frac{\lambda}{\varepsilon\sigma}$.

L'élément dont il s'agit peut donc en définitif se traduire dans un pouvoir *spécifique* de transmissibilité dont jouirait le courant, et qui dépendrait de la constitution du couple, et par suite de la nature des forces ou affinités qu'on y regarde comme la source de l'électricité.

D'une autre part l'on a vu que ce même élément affecte comme coefficient la chaleur totale dégagée dans la chaîne galvanique, et donne par conséquent la mesure de la quantité de chaleur due à un équivalent électrolytique, puisque l'on a $\lambda = \frac{w}{iz}$; l'on doit donc conclure que cette chaleur est incontestablement le produit des forces qui président à l'électrolysation ; résultat qui rend très-vraisemblable l'opinion de Mr. Joule sur l'identique origine de la chaleur due au courant, et de celle qui se dégage dans les combinaisons chimiques [1].

Dans la théorie ondulatoire, qui seule du reste paraît pouvoir expliquer le singulier phénomène d'excitation calorifique dans les différentes parties du circuit voltaïque, tel que l'obser-

[1] Ceci me paraît un argument très-fort en faveur de la théorie chimique de la pile, d'après laquelle l'élément spécifique de λ, qui répond à la *force* électromotrice, dépendrait *immédiatement* des affinités. Des déterminations nombreuses relatives à cet élément, pour des combinaisons voltaïques convenablement choisies, pourraient bien résoudre tôt ou tard le problème d'une manière péremptoire. La question théorique sur l'origine du courant se rattacherait alors évidemment à celle sur la mesure des affinités ; et les prévisions de quelques esprits éminents, sur la pile envisagée comme instrument d'analyse, se trouveraient réalisées.

vation le constate et que les lois exposées plus haut l'établissent, le coefficient dont il s'agit répondrait évidemment au carré des vitesses vibratoires, et par suite à l'intensité des forces électrolysantes, si on admet qu'une même masse d'éther mise en mouvement répondît à un même nombre d'atomes ou d'équivalents électrolytiques. Cette déduction serait aussi conforme aux conclusions théoriques, et aux déterminations expérimentales du physicien ci-dessus nommé, d'après lesquelles les quantités de chaleur dégagées par la combustion des équivalents des corps, comme celles qui répondraient à leur oxidation volta-électrique, seraient proportionnelles aux affinités de ces corps pour l'oxigène [1].

Il faut néanmoins avouer, que des exemples plus nombreux doivent venir à l'appui d'un tel résultat, avant qu'on puisse le généraliser, et le regarder comme l'expression véritable des rapports théoriques signalés plus haut, entre les affinités, l'électricité et la chaleur.

APERÇU SUR L'HISTOIRE DES COURANTS ÉLECTRIQUES INDUITS PAR LE MAGNÉTISME TERRESTRE, par Mr. MELLONI. Lu à l'Académie royale des Sciences de Naples, dans la séance du 3 juin 1845. (Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, septembre 1845.)

Lorsque Mr. Faraday découvrit, il y a environ quatorze ans, ce nouveau genre de courants électriques instantanés, développés dans les circuits formés d'un métal quelconque par le

[1] Mr. Joule emploie la formule de Ohm ; mais cette formule s'identifie avec l'expression que j'adopte, et conduit nécessairement aux mêmes valeurs numériques, lorsqu'on y détermine les constantes, comme l'a fait le physicien anglais, par des valeurs particulières de i et de r.

rapprochement ou l'éloignement soudains d'un barreau aimanté, il en tira aussitôt la conséquence que, si un simple changement de position suffisait pour reproduire le courant dans le circuit métallique soumis à l'action de l'aimant, le fluide électrique devait, de toute nécessité, circuler chez les métaux en mouvement par la seule action magnétique du globe terrestre.

Pour mettre cette pensée à l'épreuve de l'expérience, il eut recours aux deux moyens suivants : Une hélice multiple de fil de cuivre, composée de 12 spirales concentriques appuyées l'une sur l'autre, en sorte que tout contact métallique fût empêché par l'interposition de bandes de mousseline et autres matières isolantes, ayant été appliquée à un cylindre de fer doux, de 1 pied de longueur et de $^7/_8$ de pouce de diamètre, qui en occupait tout l'espace vide intérieur ; et les deux bouts de cette hélice, mis en communication avec les extrémités d'un rhéomètre multiplicateur, on disposa le cylindre ainsi revêtu de fil selon la direction de l'aiguille d'inclinaison, et on le renversa ensuite rapidement dans le plan du méridien magnétique ; de manière que ses deux extrémités venant à se remplacer mutuellement, le cylindre reprit, après le renversement, la direction qu'il avait d'abord. L'index du rhéomètre parcourut plusieurs degrés du cadran et revint ensuite sur le zéro. Le cylindre étant renversé de nouveau, l'index rhéométrique décrivit un arc opposé au premier, et reprit encore, comme auparavant, sa position naturelle d'équilibre. En répétant deux ou trois fois cette opération, de manière à rendre les inversions conspirantes avec les oscillations, l'aiguille indicatrice du rhéomètre oscilla dans un arc de 150 à 160 degrés.

Mr. Faraday approcha brusquement tantôt l'un, tantôt l'autre bout du cylindre recouvert de fil, des pôles d'un aimant artificiel doué d'une grande puissance, et s'assura que les courants excités ainsi dans l'hélice étaient parfaitement identiques à ceux qu'il venait d'obtenir par l'action du globe. Cependant l'illustre physicien anglais ne tarda pas à s'apercevoir que son

expérience n'allait pas directement au but proposé. En effet, la force magnétique de la terre, disait-il, n'agit pas seulement sur l'hélice de cuivre, mais aussi, et surtout, sur le cylindre de fer, qui devient un *aimant de position* dont les pôles ne changent pas de place malgré les renversements ; en sorte que le cylindre intérieur de fer doux produit sur le fil de cuivre le même effet qu'un barreau aimanté, alternativement introduit et retiré par le même bout, dans l'hélice directe et inverse, en troublant ainsi à chaque mouvement l'équilibre du fluide électrique. La plus grande partie des courants induits dans cet appareil ne dérive donc pas *immédiatement* du magnétisme terrestre. Mr. Faraday ôta donc le fer, et ayant soumis l'hélice seule aux mêmes alternatives de mouvement d'inclinaison et de repos, il vit le rhéomètre donner encore des indications semblables aux précédentes, mais beaucoup plus faibles. Cependant l'index rhéométrique oscilla dans un arc de 80 à 90 degrés, lorsqu'on réitéra l'opération dix à douze fois, en ayant soin de faire coïncider les inversions de l'hélice avec les oscillations de l'aiguille aimantée.

Ces expériences se trouvent décrites dans deux excellents mémoires bien connus des physiciens, que Mr. Faraday publia dans les *Transactions Philosophiques* de la Société royale de Londres, pour l'année 1831, mémoires traduits en français et insérés dans la *Bibliothèque Universelle* de Genève et dans les *Annales de Chimie et de Physique* de Paris de la même année, où chacun peut les consulter à son aise. Nous avons voulu les rappeler avec quelques détails pour montrer l'état de la question dès les premiers travaux sur les courants induits par le magnétisme terrestre, et ôter ainsi toute prétention de découverte à ceux qui n'ont fait que répéter, par la suite, avec des appareils tout à fait analogues, les observations de Mr. Faraday.

Il est juste, toutefois, que l'on fasse une exception honorable en faveur de deux ingénieux physiciens italiens, Nobili et Mr. Antinori, qui eurent à peine connaissance de l'induction électri-

que que Mr. Faraday venait de découvrir dans les aimants, qu'ils parvinrent aux deux expériences relatives au magnétisme terrestre avant d'avoir lu les mémoires de l'auteur, et les inventèrent ainsi réellement une seconde fois. Mais ces nouvelles recherches ayant une date postérieure, les physiciens n'ont jamais hésité sur l'origine de la découverte qui fut toujours attribuée, avec raison, au génie de Mr. Faraday.

La force d'induction électrique de notre planète étant bien constatée par la déviation de l'aiguille aimantée, il ne s'agissait plus que de trouver le moyen de rendre les courants induits suffisamment énergiques, afin d'obtenir les autres propriétés de l'électricité dynamique, savoir: les actions chimiques, la secousse, l'étincelle et l'incandescence de la combustion des métaux.

Occupé de ses belles recherches sur la décomposition des corps par le moyen des courants hydro-électriques, Mr. Faraday ne fit aucune tentative pour obtenir ces phénomènes, qui, quoiqu'ils fussent des conséquences bien connues de la théorie, devaient cependant recevoir la sanction de l'expérience; et Nobili, qui avait commencé une série d'observations tendantes au même but, fut enlevé à l'Italie et aux sciences physiques, où il avait fait de si brillantes découvertes. Quelque temps avant sa mort, il publia cependant un second travail sur les phénomènes d'induction terrestre où il démontra, avec le concours de Mr. Antinori, que le courant excité au moment où l'hélice quittait la position de l'aiguille aimantée, était dirigé dans le même sens que celui qui apparaissait lorsque l'hélice renversée reprenait sa direction primitive. Dans ce même mémoire, Nobili et Mr. Antinori prouvèrent aussi la nécessité de prendre en considération l'ampleur des spirales, lorsqu'on répétait la dernière expérience de Mr. Faraday, où les courants se développent directement sur le fil de cuivre, sans l'action intermédiaire du fer doux; car, en construisant avec une longueur donnée de fil des spirales de plus en plus amples, depuis quelques centi-

mètres jusqu'à 3 mètres de largeur, ils obtinrent des effets dont l'intensité alla toujours en augmentant avec la grandeur du diamètre de l'hélice [1]. Mais les notions très-imparfaites que l'on possédait alors sur la manière de comparer les intensités des divers courants électriques au moyen des galvanomètres multiplicateurs, les induisirent à considérer comme des lois générales les effets particuliers qui provenaient de la combinaison de quelques-uns de ces appareils avec le fil de cuivre employé ; et leurs expériences, tout ingénieuses qu'elles étaient, ne fournirent la mesure précise d'aucun des éléments de la question.

Alors toutes les tentatives pour obtenir, avec le magnétisme terrestre, la secousse, l'étincelle et les décompositions chimiques, semblèrent comme suspendues pendant plusieurs années consécutives, et les physiciens se contentèrent de constater le phénomène de l'induction électro-magnétique du globe par la déviation de l'aiguille aimantée.

Mr. Antinori annonça bien à quelques-uns de ses amis qu'il croyait avoir obtenu des signes d'action chimique, lorsqu'il essayait l'une des grandes spirales appartenant au musée du grand-duc de Toscane [2] ; mais, son expérience n'ayant été ni décrite ni répétée, les physiciens ne purent s'assurer si de telles indications provenaient réellement des courants d'induction terrestre : en sorte que le phénomène de la décomposition des corps au moyen de ces courants ne pût être considéré comme un fait acquis à la science.

En attendant, les notions relatives aux courants d'induction excités par les aimants devenaient de plus en plus complètes. Clarke et Pixii trouvaient le moyen de rendre conspirants les deux courants opposés dus au rapprochement et à l'écartement du circuit métallique ; ils reproduisaient d'une manière simple

[1] *Antologia di Firenze*, nº 138. Memorie ed instrumenti del Car.-Leopoldo Nobili.

[2] *Elementi di Fisica sperimentale* di F. Marcet, tradotti dall'abate L. Marsili. Firenze 1839, pag. 21 dell' Appendice.

et commode l'étincelle déjà obtenue par Mr. Faraday, Nobili et Mr. Antinori, et obtenaient l'incandescence des fils de platine, la combustion du fer, la secousse et la décomposition de l'eau. MM. Ohm, Fechner, Pouillet, Becquerel, Matteucci, Peltier, de la Rive étudiaient avec succès les propriétés des diverses espèces de courants électriques, et montraient nettement pourquoi les *actions* que l'on est convenu d'appeler *physiques*, savoir : l'étincelle, l'incandescence et la combustion des métaux, exigent un petit nombre et une grande largeur dans les couples des électromoteurs hydro-électriques et thermo-électriques, ou peu d'étendue et une grande section du fil métallique dans les expériences d'induction ; et pourquoi la multiplicité des couples chez les appareils de Volta et de Seebeck, et la longueur des fils dans les expériences de Mr. Faraday étaient nécessaires à la production des effets chimiques.

Profitant de ces nouvelles découvertes, les professeurs Linari et Palmieri reprirent, vers la fin de 1840, l'étude des courants induits par le magnétisme terrestre, et après quelques années d'application et d'essais, ils annoncèrent à l'Académie qu'ils venaient d'obtenir la secousse et la décomposition de l'eau, moyennant un appareil de leur invention, auquel ils donnèrent le nom de batterie *magnéto-électro-tellurique*. Nous ne rapporterons pas ici la description de cet appareil, déjà insérée dans les *Comptes rendus* de l'Académie [1]. Nous dirons seulement que le principe qui a servi de base aux auteurs est celui de la première expérience de Mr. Faraday, avec cette différence qu'au lieu d'un cylindre, ils employèrent une série de tubes de fer, et obtinrent ainsi le double avantage de conserver une plus grande quantité de fil de cuivre près du corps inducteur, et d'avoir une moindre masse à mouvoir, sans diminuer pour cela l'intensité de l'action magnétique qui réside entière-

[1] Année 1843, 1er semestre, p. 1442 des *Comptes rendus*; n° 17 du *Rendi conto* de l'Académie royale des Sciences de Naples, et *Archives de l'Electricité*, t. III, p. 341.

ment dans les couches superficielles, comme l'ont prouvé les expériences de Nobili, de Mr. Haldat et d'autres physiciens. Les courants électriques qui parcouraient les hélices étaient recueillis par un mécanisme analogue à celui de la machine de Clarke, et transmis ensuite à l'eau acidulée ou aux mains de l'expérimentateur, selon que l'on voulait obtenir l'une ou l'autre des deux actions.

Chargé par l'Académie d'examiner les expériences de MM. Palmieri et Linari, nous crûmes indispensable de mettre d'abord les deux faits annoncés à couvert de tout soupçon qu'on aurait pu élever contre leur véritable origine. Après les avoir nettement observés, nous fîmes donc placer l'axe de rotation de la machine dans le plan du méridien magnétique, en sorte que les tubes et leurs hélices tournaient alors perpendiculairement à ce plan, et les deux phénomènes disparurent tout à fait, quoique la vitesse de la rotation, le frottement des axes et les positions occupées successivement par les tubes à l'égard des autres pièces métalliques de l'appareil fussent exactement les mêmes qu'ils étaient d'abord. La secousse et la décomposition de l'eau par le moyen des courants électriques d'induction terrestre furent alors, à notre avis, complétement démontrées, et nous le déclarâmes dans notre rapport du 25 avril 1843. Ces actions, toutes faibles qu'elles étaient, nous parurent même suffisantes pour pouvoir prédire, avec beaucoup de probabilité, qu'elles conduiraient tôt ou tard à la manifestation de l'étincelle. C'est pourquoi nous montrâmes le désir que l'on fournît aux auteurs les moyens de continuer leurs études selon cette direction ; et l'Académie, en voulant bien accueillir notre opinion, fit en sorte que MM. Linari et Palmieri reçurent du gouvernement un honorable subside, destiné à compenser une partie de leurs frais.

L'Académie n'eut pas à se repentir de l'encouragement qu'elle venait d'accorder, puisque les deux auteurs obtinrent effectivement, quelques mois plus tard, l'étincelle électrique avec leur appareil d'induction terrestre. (Voy. *Archives de l'Electricité*, t. IV, p. 189.)

Nous fûmes chargé de nouveau de l'examen de ce troisième fait, et nous nous convainquîmes également de son origine tellurique, comme il résulte d'un second rapport que nous eûmes l'honneur de lire à l'Académie dans sa séance du 23 avril 1844. En déclarant notre conviction pleine et entière sur l'apparition de l'étincelle par l'action du globe, il nous parut toutefois convenable d'engager MM. Palmieri et Linari à chercher à reproduire par l'action directe de la terre sur les hélices de cuivre les phénomènes obtenus avec l'intermédiaire du fer doux, en suivant la route tracée par Mr. Faraday à l'égard de la déviation de l'aiguille aimantée. Cette invitation ne put être malheureusement acceptée que par un seul des auteurs, le professeur Linari se trouvant affecté d'une terrible ophthalmie qui lui laisse peu d'espoir d'une guérison complète.

Le succès répondit à l'attente comme dans les cas précédents ; et maintenant, par les soins de Mr. Palmieri, l'étincelle, la secousse et la décomposition de l'eau peuvent s'obtenir moyennant une simple spirale de cuivre tournant autour de l'un de ses diamètres, dirigé perpendiculairement au méridien magnétique.

Nous abandonnerons à l'auteur la description précise de la figure de cette courbe, de la longueur, de l'épaisseur et de la disposition du fil dont elle se compose, et nous nous bornerons à dire que ses expériences, répétées plusieurs fois en notre présence, nous ont parfaitement convaincu de la reproduction des trois phénomènes par l'induction directe de la terre sur la spirale de cuivre.

Si l'on nous demande quelles sont les dimensions et la qualité des fils, la figure et le diamètre des spirales *les plus propres* à la manifestation des actions physiques et chimiques de ces courants directement excités par le magnétisme terrestre, nous répondrons franchement que les expériences de l'auteur ne nous semblent pas renfermer les éléments nécessaires à la solution du problème.

Mr. Palmieri pense qu'une seule spirale continue, composée avec un fil d'une grosseur égale ou supérieure à 1 $^1/_2$ millimètre, est suffisante pour avoir l'un et l'autre genre d'action. Mais si, au lieu de deux hélices, l'une spécialement destinée aux effets physiques et l'autre aux effets chimiques, on croyait convenable de n'en employer qu'une seule, il nous paraît hors de doute que l'on devrait d'abord trouver, par une série d'expériences comparatives, la limite où l'allongement ultérieur du fil ne produit plus aucune augmentation dans la *tension* du courant d'induction; et, ayant ainsi déterminé *la longueur plus convenable aux actions chimiques*, établir ensuite, avec la même qualité de fil, d'autres expériences afin d'avoir la limite, *nécessairement inférieure*, des courants les plus aptes à produire les actions *physiques*. Cela posé, au lieu de former avec le fil unique destiné à reproduire les deux genres de phénomènes une spirale continue, on devrait évidemment composer la courbe d'autant de portions détachées que le fil du *maximum d'effet physique* est contenu de fois dans le fil du *maximum d'effet chimique*. Effectivement, si l'on faisait communiquer ensemble l'extrémité de la première section avec le commencement de la seconde, la fin de la seconde avec le commencement de la troisième, et ainsi de suite, on aurait la spirale la plus favorable aux actions chimiques; et, en mettant en communication toutes les extrémités initiales d'un côté et toutes les extrémités finales de l'autre, on obtiendrait certainement des différentes sections ainsi combinées une quantité d'électricité dynamique beaucoup plus efficace pour les actions physiques que le courant électrique développé dans ces mêmes sections communiquant bout à bout.

Deux fils d'égale longueur, l'un de cuivre, l'autre de fer, réunis ensemble par une de leurs extrémités, de manière à former un fil de longueur double, étant interposés dans le *circuit extérieur* de la machine de Clarke, offrent au passage du double courant d'induction électro-magnétique, une résistance un

peu plus forte que ces mêmes fils divisés en deux ou quatre portions alternativement réunies ; en sorte que le courant passe du fer au cuivre, du cuivre au fer, et ainsi de suite. Ce curieux phénomène, découvert par Mr. de la Rive, se reproduit-il également sur les courants dus à l'induction du globe? Alors il serait fort intéressant d'étudier l'effet d'une semblable disposition dans le *circuit intérieur*, afin de savoir s'il conviendrait de former l'hélice avec des spires alternativement composées de deux métaux différents.

Dans un précédent travail, entrepris par Mr. Palmieri avant son association scientifique avec Mr. Linari, ce physicien observa que, entre toutes les figures isopérimètres, l'ellipse, tournant autour de son grand axe, était peut-être la plus efficace pour produire la déviation de l'aiguille aimantée en vertu de l'induction terrestre [1]. Mr. Palmieri a donc construit sous forme elliptique la spirale de son appareil. Mais quel rapport doit-on donner aux deux axes de la courbe pour avoir le maximum d'effet? Quelle est la valeur absolue de ces dimensions?

Si les observations de Nobili et de Mr. Antinori sur l'influence du diamètre étaient applicables à toute grandeur et à un fil quelconque, et si, par conséquent, en augmentant graduellement les dimensions de la spirale, on gagnait toujours quant à la force des courants d'induction terrestre, il ne s'ensuivrait pas que l'on dût amplifier outre mesure la grandeur de la spirale, car la ténacité des matériaux employés présenterait bientôt une barrière que l'on ne pourrait outrepasser ; et l'on retrouverait également une limite dans la vitesse de rotation si on ne savait déjà que, arrivée à un certain point, l'augmentation de cette vitesse nuit au développement des phénomènes d'induction.

Mais il nous semble qu'il n'existe aucune donnée d'où l'on puisse inférer que l'on doive si vite atteindre la limite où un prolongement ultérieur du fil ne communique plus aucune augmentation de force au courant induit.

[1] *Il progresso*, journal napolitain, n° 53, année 1840.

Et ici la comparaison des effets analogues fournis par les machines électro-magnétiques n'a aucune valeur, parce que dans ces machines, l'induction dérivant presque totalement du fer sur lequel s'appuie le fil de cuivre, celui-ci, comme Mr. Palmieri l'observe avec une parfaite justesse à l'égard des tubes de la batterie *magnéto-électro-tellurique*, est bientôt tellement éloigné, par la superposition des tours successifs de la spirale, qu'il ne ressent presque plus l'action électromotrice du corps inducteur : en sorte que, après qu'on a employé une certaine quantité de fil, le reste augmente la résistance au mouvement du fluide électrique sans accroître sensiblement la force du courant ; tandis que chaque nouvelle spire ajoutée à l'hélice de cuivre soumise à l'action directe du globe terrestre ne se trouve point sujette, en vertu du plus grand éloignement de l'axe de rotation, à un affaiblissement de la force inductrice, mais reçoit toujours la même quantité d'action, si elle ne gagne même quelque peu par les observations indiquées tantôt de Mr. Antinori et de Nobili.

On sait que la décomposition des corps rapportée à l'intensité de la secousse et de l'étincelle est, dans la machine électro-magnétique de Clarke, beaucoup plus faible que dans la pile de Volta. Cette faiblesse d'action chimique ne nous paraît pas provenir uniquement de l'instantanéité des courants d'induction, ainsi que quelques physiciens semblent l'admettre ; mais elle dériverait en grande partie, d'après notre opinion, du peu de longueur que l'on est forcé de donner au fil de l'hélice pour ne pas trop s'écarter du fer. En effet, de même que la *tension* augmente chez l'électro-moteur voltaïque avec la *résistance intérieure*, et par suite avec le *nombre des éléments employés*, ainsi la tension du courant d'induction devrait s'accroître proportionnellement au nombre de spires qui, pour une force inductrice donnée, constituent les véritables éléments de cette espèce particulière d'électro-moteurs. Or, les métaux étant d'excellents conducteurs du fluide électrique, la petite quantité

de fil de cuivre que l'on place autour des cylindres de fer doux des machines électro-magnétiques présente, jusque dans le cas des armatures à fil fin, très-peu de *résistance intérieure*, en sorte que les courants excités dans ces circuits électriques ne sauraient acquérir une forte tension, ni, par conséquent, une grande aptitude aux actions chimiques.

Les différences dans les rapports d'intensité des divers phénomènes électriques obtenus par MM. Palmieri et Linari au moyen du magnétisme terrestre, comparées aux phénomènes analogues excités par l'action des aimants, fournissent une belle preuve à l'appui de notre manière de voir. Effectivement, les actions chimiques, dans la *batterie magnéto-électro-tellurique*, sont, par rapport aux actions physiques, beaucoup plus intenses que dans la machine de Clarke. Pour en être convaincu, il suffit de remarquer que MM. Linari et Palmieri obtinrent la décomposition de l'eau bien avant d'avoir observé l'étincelle, quoique leur armature se composât d'un fil d'une certaine grosseur. Or, si on compare l'étendue du fer dans les deux appareils, il sera aisé d'en déduire que la longueur du fil employé dans la batterie de MM. Palmieri et Linari surpasse de beaucoup la longueur du fil de la machine de Clarke. Cependant la première quantité est, elle aussi, fort limitée, à cause du décroissement rapide que subit la force électro-magnétique lorsque, en continuant la superposition des tours de spire, on arrive à une certaine distance du cylindre de fer, ce qui oblige à ne pas multiplier excessivement le nombre des tours pour ne pas augmenter inutilement la résistance aux dépens de la force.

Mais la constance de l'action inductrice qui agit sur chaque spire dans le cas de l'hélice de cuivre soumise, sans l'intervention du fer, à l'influence électro-magnétique du globe, et par suite la possibilité d'augmenter à volonté, avec le nombre de tours, la longueur du fil et l'intensité de la force électromotrice, semblent conduire à la conséquence que, dans ce cas, la tension n'a qu'une limite très-reculée.

Il est donc fort possible qu'en formant l'hélice avec un fil ayant quelques milliers de mètres de longueur, on obtienne des courants doués d'une tension énorme et capables de décomposer les substances qui se sont maintenues intactes jusqu'à ce jour sous l'action des plus puissants électromoteurs voltaïques.

Nous terminerons donc en engageant Mr. Palmieri à poursuivre ses recherches, et à vérifier si les courants développés par le magnétisme du globe dans les circuits dénués de fer peuvent réellement acquérir, sous certaines conditions, une force capable de vaincre les affinités les plus intimes des corps, tâchant ainsi d'ajouter au mérite d'avoir le premier obtenu la secousse, l'étincelle et l'action chimique des courants directs d'induction terrestre, la gloire qui ne manque jamais de rejaillir sur l'auteur d'une découverte d'où résulte un mouvement important dans les sciences physiques ou dans leurs applications aux usages de la vie.

EXPÉRIENCES SUR LES PHÉNOMÈNES DE LA CONTRACTION INDUITE, par Mr. MATTEUCCI; lettre à Mr. Dumas. (Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, septembre 1845.)

Vous vous rappelez l'expérience que je vous ai montrée sur la contraction de la grenouille galvanoscopique, dont le nerf est couché sur le muscle d'un animal quelconque en contraction. C'est ce phénomène que l'on a appelé, en Angleterre, *contraction induite*, que j'ai longuement étudié dans ces derniers temps, et qui forme le sujet d'un long mémoire qui, à la suite de deux autres sur le courant musculaire et sur le courant propre de la grenouille, a été honoré de l'insertion dans les *Philosophical Transactions* de la Société royale de Londres.

J'ai communiqué les résultats principaux des deux premiers mémoires à Mr. de Humboldt, et ma lettre a paru dans les *Comptes rendus*. Je vais maintenant vous donner un extrait de ce troisième mémoire sur la contraction induite.

Dans le but d'établir si cette contraction induite pouvait être due à un développement d'électricité dans la contraction du muscle, ou plus probablement à une espèce de décharge à l'extérieur des états électriques opposés qui produisent le courant musculaire, j'ai de nouveau étudié les sources de ce courant. Je viens de trouver que le gaz nitreux agit encore avec plus d'intensité que l'hydrogène sulfuré pour détruire le courant musculaire et le courant propre. De même j'ai trouvé que, pour peu qu'on laisse les éléments musculaires en contact avec des solutions salines ou alcalines, les signes du courant musculaire et du courant propre disparaissent complétement. Enfin, j'ai cherché dernièrement, soit avec le galvanomètre, soit avec l'usage de la grenouille galvanoscopique employée avec beaucoup de soins, l'existence des états électriques analogues à ceux du muscle dans d'autres tissus ou matériaux organisés des animaux vivants ou récemment tués. J'ai obtenu les signes du courant électrique en agissant sur le poumon, sur le foie, sur les reins. La direction du courant est toujours de l'intérieur de l'organe à la surface, dans l'organe même. En comparant des piles faites avec un même nombre d'éléments, soit des muscles, soit des organes cités, on trouve une différence très-remarquable dans l'intensité du courant. Le courant musculaire est toujours le plus fort et le plus persistant. En agissant sur la substance cérébrale ou sur la moelle épinière, j'ai eu beaucoup de peine à obtenir, avec la grenouille galvanoscopique, des signes de courant. J'ai composé une pile de vingt éléments, et avec ma méthode ordinaire, avec la moelle épinière d'un bœuf récemment tué. J'ai obtenu un courant de 10 à 12°, toujours dirigé, dans la substance organisée, de l'intérieur à la surface. Avec un même nombre d'éléments musculaires, l'intensité du

courant aurait été beaucoup plus forte, et il aurait persisté davantage.

De tous ces faits et de tous ceux que j'ai recueillis dans mes travaux précédents, il me semble qu'il est impossible de conserver le moindre doute sur l'origine du courant musculaire : les actions chimiques qui ont lieu dans les organes vivants, et principalement l'action du sang artériel sur les éléments organiques. Ces actions chimiques donnent lieu à des états électriques qui se développent et se détruisent dans le même temps, et ce n'est qu'avec une disposition d'expériences que l'on parvient à créer une espèce d'inégalité dans les circonstances de la production du courant et de la conductibilité du circuit qui en manifeste la présence. Ces circonstances se vérifient toujours dans l'intérieur et dans la surface du tissu musculaire, et des différents parenchymes que j'ai nommés.

Je ne puis pas m'expliquer comment le célèbre physiologiste de Berlin, Mr. Müller, peut dire, dans son *Manuel de Physiologie*, que l'on vient de découvrir, en Allemagne, les principes généraux qui peuvent expliquer les faits que j'ai découverts. Ces principes généraux se réduisent à ceux-ci : « Un courant électrique se produit lorsque la coupe transversale d'un muscle vient à être mise en communication par un arc avec sa coupe longitudinale. » Plutôt qu'un principe général, il me semble qu'il n'y a là qu'une formule brute et incomplète de mes phénomènes.

Je crois inutile de rassembler ici toutes les observations que je pourrais faire pour prouver cette vérité, ce qui, d'ailleurs, serait très-facile pour tous ceux qui ont suivi mes travaux. Du reste, je dois ajouter qu'en lisant le mémoire de Mr. Dubois-Reymond, dans les *Annales de Poggendorff*, je n'ai pas trouvé que ce physiologiste, qui est, à ce que je sais, le seul qui ait confirmé et varié mes expériences en Allemagne, ait donné, sur l'origine du courant musculaire et du courant propre, des idées différentes des miennes. Il aurait été à désirer que ce phy-

siologiste eût émis dans son travail moins d'idées hypothétiques et qu'il eût fait surtout plus d'expériences. Mais en général j'ai trouvé, dans différents points de son mémoire, qu'il parle de l'action du sang artériel sur la fibre musculaire. Il est juste de dire qu'il a le mérite d'avoir indiqué le premier, quoique d'une manière incomplète, le rôle de la substance tendineuse dans le courant propre, tel que je viens de l'établir dans mon dernier mémoire. J'aurais voulu aussi que Mr. Dubois-Reymond eût décrit, dans son mémoire, la méthode qu'il a employée pour étudier l'influence des gaz sur l'intensité et la durée du courant musculaire. Les résultats auxquels je suis parvenu diffèrent beaucoup de ceux de Mr. Dubois-Reymond ; en effet j'ai trouvé que, dans tous les gaz, ce courant reste le même, et que la variation produite par l'hydrogène est due à une action secondaire, indépendante, par conséquent, de la nature de la pile. J'ai décrit, dans le mémoire qui paraîtra dans les *Philosophical Transactions*, l'appareil et le procédé que j'ai employés dans mes expériences.

Je regarde comme très-exacts les résultats auxquels je suis parvenu, et j'ai de la peine à m'expliquer comment, en travaillant sur ce sujet, on n'a pas remarqué la différence produite par le gaz hydrogène, qui est si manifeste, tandis qu'en opérant avec les autres gaz, on a trouvé des différences qui n'existent pas.

J'en viens maintenant à décrire les résultats principaux auxquels je suis parvenu en étudiant les phénomènes de la contraction induite, et en en cherchant la cause. J'ai d'abord varié de mille manières les expériences pour découvrir s'il y a dégagement d'électricité dans la contraction musculaire. J'ai employé, pour cela, les instruments les plus délicats et tous les soins possibles, et je dois conclure que ce dégagement d'électricité ne peut pas se démontrer par l'expérience. J'ai examiné successivement, en m'appuyant sur l'expérience, les différentes

hypothèses que l'on peut faire pour s'expliquer la contraction induite, telles que celles des courants dérivés, des courants d'induction, des secousses, des mouvements vibratoires, excitées dans le nerf par le muscle en contraction, des états électriques différents de la surface du muscle et de son intérieur, que l'on pourrait supposer porté à l'extérieur par la contraction, etc. Toutes ces hypothèses sont renversées par un grand nombre de faits, parmi lesquels je me borne à vous citer les principaux. Parmi les corps interposés entre la surface du muscle en contraction et le nerf de la grenouille galvanoscopique, qui laissent passer la contraction induite, il y a l'huile d'olive et la térébenthine de Venise, rendue suffisamment liquide, par le mélange avec de l'huile volatile de térébenthine. La couche de ces substances interposées, qui n'empêchent pas la contraction induite, suffit pour arrêter le passage du courant musculaire ou du courant propre, et même celui d'une pile ordinaire assez forte. Au contraire, une lame excessivement mince de mica, interposée entre le nerf et le muscle, empêche la contraction induite.

Ces faits suffisent pour prouver que ce n'est pas par une action électrique, ou directe, ou indirecte, développée par la contraction musculaire, que l'on peut expliquer la contraction induite. J'ai trouvé que la contraction induite persistait, quelle que fût la direction du nerf relativement aux fibres musculaires; que l'excitation du nerf induit se propageait, soit vers le muscle, soit vers le centre nerveux; que cette excitation avait lieu quand même le nerf induit était déjà excité par une cause quelconque; que cette contraction induite était capable d'exciter jusqu'à une seconde et une troisième contraction indirecte. On est donc, par là, amené à conclure que la contraction induite est un phénomène simple et primitif, une nouvelle propriété de l'action nerveuse dont les lois principales sont établies.

Je ne puis pas concevoir comment Mr. Müller a pu conclure de mes travaux, qu'on est amené à établir l'identité du

principe nerveux avec l'électricité. J'ai, en mille circonstances et dans tous mes mémoires, insisté pour bien établir les analogies et les différences qui existent entre ces deux principes ; on n'a qu'à lire pour cela les chapitres VII et VIII de mon *Traité des Phénomènes électro-physiologiques des animaux*.

Je ne dirai plus qu'un mot au sujet de la contraction induite à propos de l'explication que Mr. Dubois-Reymond en a donnée. Ce physiologiste pense que le courant musculaire est interrompu par la contraction, et que cette interruption doit déterminer une *rupture d'équilibre* dans le nerf de la seconde préparation, et, par conséquent, amener la contraction du second muscle. Ce sont les mêmes expressions avec lesquelles Mr. Müller rapporte l'hypothèse de Mr. Dubois-Reymond, faite pour expliquer la contraction induite. Il m'a été impossible de me faire une idée de la valeur physique de ces expressions. Il paraît que Mr. Dubois-Reymond admet que le courant musculaire ou propre s'affaiblit ou s'interrompt pendant la contraction musculaire ; mais il n'y a aucun fait qui vienne à l'appui de cette idée. Galvani avait bien vu que les signes des contractions propres s'affaiblissent ou disparaissent dans la grenouille prise de tétanos : moi-même j'ai bien confirmé ce fait ; mais il faut remarquer que cet affaiblissement se montre, parce qu'on prend pour indication du courant propre la contraction de la grenouille, même en repliant sa jambe sur les nerfs lombaires. Mais on ne trouve pas cela en mesurant le courant propre ou le musculaire avec le galvanomètre. La différence est donc due à l'état d'excitabilité du nerf dans l'état tétanisé. Ce n'est que dans un cas, que j'ai noté dans mes travaux et que j'ai vérifié après, que l'on pourrait trouver la preuve du principe admis par Mr. Dubois-Reymond. J'ai trouvé que les grenouilles prises dans l'état de surexcitation développée par l'emploi de la noix vomique, préparées à la manière ordinaire et disposées en pile, donnent un courant propre plus faible que celui que l'on obtient en agissant sur des grenouilles qui n'ont pas subi l'action

de la noix vomique. Mais, si l'on réfléchit que les contractions ne persistent pas dans les grenouilles préparées et disposées en pile, on ne pourra pas voir, dans ce fait unique, la démonstration du principe invoqué par Mr. Dubois-Reymond. Du reste, il est difficile de concevoir comment les actions chimiques doivent s'affaiblir dans un muscle par le fait de sa contraction.

Si j'ai bien saisi l'idée du jeune physiologiste de Berlin, émise dans son mémoire déjà cité, il me semble que l'on devrait admettre que le muscle qui entre en contraction, en diminuant de longueur et en augmentant en largeur, devient, pour le courant, moins résistant, et de là la rupture d'équilibre qui donne, selon lui, la contraction induite. Mais on ne sait pas de quel courant il parle ; le courant musculaire et le courant propre circulent dans les masses musculaires, seulement dans le cas où ces masses seraient coupées et préparées. Et, après tout, je viens de démontrer, par des expériences, que la contraction induite ne peut jamais être produite par une action électrique, ou directe, ou d'induction. Je le répète, la contraction induite est le premier fait d'une action à distance, ou plus proprement, d'induction qui est exercée par un muscle en contraction sur un nerf. Je pense que ce principe aura de l'importance dans la physique du système nerveux. Si un nerf est excité, dans son contact avec un muscle en contraction, il est naturel que tous les nerfs qui sont ramifiés dans une masse musculaire, doivent être excités lorsque ce muscle entre en contraction par la stimulation du nerf qui s'y ramifie. Il est facile de saisir les applications de cette dernière conséquence.

SUR LE SON QUE REND UNE BARRE DE FER ENTOURÉE D'UNE SPIRALE AU MOMENT OU L'ON OUVRE OU FERME LE CIRCUIT, par Mr. MATTEUCCI. (Extrait de *L'Institut*, n° 609.)

Plusieurs fois déjà il a été question du son que produit un fil métallique traversé par un courant. Le célèbre Fabroni racontait qu'il avait obtenu un son distinct en faisant passer le courant par un fil conducteur, et il semble que celui de fer s'est mieux prêté que les autres au résultat de ses expériences.

Les expériences récentes de Mr. Wertheim, décrites dans son beau travail sur l'élasticité, ont mis hors de doute que le passage du courant dans un fil métallique diminuait son coefficient d'élasticité indépendamment de l'effet de réchauffement produit par le courant même. Il est assez facile de réussir dans cette expérience ; pour cela il suffit de faire passer le courant par une corde métallique tendue sur le sonomètre et dans la situation dans laquelle on lui fait produire un son par les vibrations longitudinales. A l'instant on entend le son baisser de ton et remonter aussitôt que le courant cesse. Le même physicien a aussi obtenu une faible diminution dans le coefficient d'élasticité du fer doux et de l'acier magnétisés par une spirale parcourue par un courant électrique.—Dans l'*American Journal* (cah. de juillet 1837), Mr. le docteur Page a décrit une expérience dans laquelle il a obtenu un son avec un aimant dont le pôle était voisin d'une spirale simple, au moment où le courant passe ou cesse de passer dans cette spirale. — Mr. Marrian, de Birmingham, a récemment annoncé qu'il avait obtenu des phénomènes sonores des électro-aimants. Dans un article inséré dans le numéro 576 de l'*Institut*, à la date du 8 janvier 1845, il rend compte de ses expériences sur le son produit dans une barre

de fer entourée d'une spirale, tant au moment où le circuit s'établit qu'à celui où il est interrompu. Mr. Marrian fait ses expériences principalement en prenant une verge de fer doux, longue de vingt pieds anglais et d'un pouce de diamètre, et introduit cette verge dans une hélice faite avec un gros fil de cuivre à travers laquelle il fait passer le courant d'une pile. Il a répété cette expérience avec des verges de longueurs et diamètres divers, et a obtenu de toutes des sons, tant en fermant qu'en ouvrant le circuit, sons qu'il a trouvés être d'une intensité différente selon les dimensions des barres et la force du courant. Il ajoute que, lorsqu'il a enveloppé avec la spirale primitive de gros fil une autre spirale de fil plus fin, le son a diminué considérablement s'il réunissait les extrémités de cette seconde spirale. Le son obtenu est, selon l'auteur, facile à imiter en frappant une des extrémités de la barre avec un corps métallique quelconque, ce qu'on ne parvient pas à obtenir si on la frappe latéralement. En mettant à la place de la barre de fer d'autres barres de zinc, de cuivre, d'argent, il n'a obtenu aucun son. En résumé, le résultat le plus important parmi ceux qui sont annoncés par Mr. Marrian, semble être d'avoir obtenu un même son avec trois barres de dimensions égales, l'une de fer doux, l'autre d'acier trempé, et la troisième d'acier déjà aimanté.

Le phénomène découvert par Mr. Marrian m'a semblé digne d'attention, et je rapporterai les faits peu nombreux que j'ai obtenus et qui semblent fixer d'une manière suffisamment claire la cause du phénomène.

Mais disons d'abord que, pour obtenir ce son d'une manière assez distincte et sans qu'il soit nécessaire d'appliquer l'oreille à la barre, il suffit de préparer, sur un tube de verre d'environ huit millimètres de diamètre, une spirale avec un fil de cuivre d'un millimètre de diamètre recouvert de soie. Une corde de piano-forte du n° 8 est tendue sur le sonomètre après avoir été introduite dans ledit tube de verre ; on dispose ce tube avec

des pontets de bois, de façon que la corde de fer ne touche pas ses parois. La corde est tendue par un poids de quatre kilogr. On fait passer le courant d'une pile de Bunsen de dix éléments, en l'interrompant à des intervalles de temps très-voisins, et on entend distinctement, chaque fois que le circuit s'ouvre ou se ferme, un son perceptible encore à la distance de six à huit mètres. Le son qu'on obtient peut difficilement être déterminé, et même avec le secours d'une personne douée d'une oreille assez délicate, on n'a pas réussi à lever toute incertitude relativement à sa valeur. On n'a pas remarqué de différence entre le son produit quand on ouvrait le circuit et quand on le fermait. On a fait varier ensuite l'intensité du courant depuis quatre couples de Bunsen jusqu'à vingt; le son a eu constamment la même valeur, seulement l'intensité a varié. Ce son augmente indubitablement par une augmentation de quatre jusqu'à dix couples; mais, passé ce nombre, il a semblé plutôt diminuer, de manière que le courant de vingt éléments donnait un son moins intense que celui produit par dix éléments. On a fait varier le poids qui tendait la corde depuis quatre jusqu'à seize kilogr.; le son est resté le même, seulement son intensité a paru devenir plus grande par l'accroissement de la tension de la corde. Cette expérience suffit pour établir que c'est dans le sens longitudinal que se font les vibrations auxquelles est dû ce son. On a obtenu, au moyen de la roue de Masson, une suite d'intervalles extrêmement petits de temps entre l'ouverture et la fermeture du circuit; alors le son produit par la corde est devenu plus distinct jusqu'à une certaine limite, au delà de laquelle il a cessé d'être perceptible. Il m'a semblé que c'était lorsqu'il y avait quarante aimantations et autant de désaimantations dans une seconde et demie de temps, que le son était le plus distinct possible. L'intensité du son croît encore quand on enveloppe une seconde spirale sur la première, et qu'on la fait parcourir par le courant dans le même sens; toutefois la différence ne consiste pas dans l'intensité. En tenant, avec une des

spirales, le circuit constamment fermé, et opérant ensuite avec l'autre à la manière ordinaire, le son se produit également. J'ai répété cette expérience sur une grosse barre de fer avec le même résultat. Si on fait passer le courant dans deux spirales en sens contraire, le son ne se distingue plus. En ployant une tige de fer doux, longue de trois mètres et de dix millimètres de diamètre, sous la forme d'un fer à cheval, et en tenant ses deux extrémités à celles d'un aimant temporaire très-fort, on n'a jamais réussi à distinguer aucun son dans la première tige en aimantant et désaimantant l'aimant temporaire. Au contraire, quand on entoure d'une spirale les deux extrémités de la même verge, on obtient distinctement le son des circonstances ordinaires. Peut-être cet effet est-il dû à ce qu'on n'obtient jamais, avec l'aimant temporaire, un degré de magnétisme dans la tige de fer doux aussi fort que quand on fait aimanter cette tige par le passage du courant. Enfin, j'ai rempli de limaille de fer le tube de verre entouré par les deux spirales, et avec cette disposition on obtenait encore, en appliquant l'oreille à l'extrémité du tube, un son distinct lorsqu'on fermait ou qu'on interrompait le circuit.

Je terminerai en disant que j'ai tenté inutilement d'obtenir des signes de courant dans la spirale, en faisant vibrer d'une manière quelconque la corde tirée à son intérieur. J'ai remarqué, toutefois, que si on agissait sur de grandes barres, on obtenait alors des signes distincts de courant à chaque coup ou mouvement vibratoire qu'on communiquait à la barre. Pour cela, il est nécessaire que la barre ait été aimantée récemment; alors, à chaque coup donné à la barre, il y a des signes de courant dans la spirale, tels qu'on en obtiendrait en communiquant à la barre un magnétisme contraire à celui qu'elle possédait. On fait facilement cette expérience en enveloppant deux spirales sur une même barre, les bouts de l'une se terminant aux extrémités d'un galvanomètre sensible, tandis que l'autre spirale sert à faire passer le courant d'une pile. Si, pendant

que la barre est aimantée et qu'on tient fermé le circuit de la spirale unie à la pile, on communique à la barre un mouvement vibratoire, on obtient au galvanomètre de forts signes de courant instantané, comme on en obtiendrait si on avait augmenté le magnétisme de la barre; au contraire, si le mouvement vibratoire est imprimé à la barre un peu après que le courant a cessé de passer, on a des signes de courant instantané, comme si on avait diminué, suivant un mode quelconque, le magnétisme de la barre. Ces phénomènes se vérifient quelle que soit la position de la barre relativement au méridien magnétique; par conséquent ils sont indépendants de la force magnétique de la terre. Ces faits prouvent mieux, je pense, qu'on ne l'avait fait jusqu'à présent, que, pendant que la barre s'aimante, tout mouvement vibratoire qu'on lui imprime accroît la disposition de la barre à s'aimanter, tandis que la même action opère en sens contraire sur la barre déjà aimantée.

J'ai essayé enfin, sans aucun succès, d'obtenir le son avec des verges de métaux non magnétiques entourées de spirales parcourues par des courants.

D'après l'examen des observations faites sur le son obtenu par l'aimantation et la désaimantation d'une barre de fer, et d'après le sens suivant lequel se font les vibrations dans ce son, j'ai trouvé que l'explication la plus simple qu'on puisse en donner, est celle où l'on attribue à une espèce de tiraillement que doivent indubitablement éprouver les molécules de la barre, ou la corde à partir de son milieu vers les extrémités, au moment où le courant passe par la spirale et au mouvement de retour de ces molécules quand le courant cesse. En effet, si on répand de la limaille sur une feuille de papier, et si on applique la feuille ainsi tendue sur un cylindre électro-dynamique, on voit, à l'instant où le courant commence à passer, la limaille se mouvoir comme elle le ferait dans le voisinage d'un aimant. Ces mouvements cessent brusquement, et les particules de limaille reviennent à leur position aussitôt que le courant cesse. En dé-

pit de la cohésion des molécules de la barre ou de la corde, il est impossible de ne pas admettre que la spirale électro-dynamique n'agit pas au commencement et à la fin de son action sur les mêmes molécules que sur la limaille.

Pise, 20 janvier 1845. (*Il Cimento.*)

SUR LA CONDENSATION DE LA FORCE MAGNÉTIQUE A LA SURFACE DES AIMANTS [1], par Mr. DE HALDAT. (Extrait des *Mémoires de la Société royale des Sciences, Lettres et Arts de Nancy.*)

Lorsque le résultat des recherches faites sur la concentration de la force magnétique à la surface des aimants fut présenté à l'Académie des Sciences, plusieurs membres de cette illustre compagnie parurent désirer qu'on déterminât plus rigoureusement cette loi, et qu'on s'assurât si cette force est accumulée à la surface des corps à l'état magnétique, comme la force électrique l'est à la surface des corps électrisés, ou si elle est seulement accumulée *près* de la surface des aimants, selon l'expression que j'avais employée pour caractériser le fait. Ne pouvant répondre au désir des savants académiciens, qu'au moyen de nouvelles recherches, je les ai entreprises et les ai consignées dans ce complément au premier mémoire [2].

Le mode d'investigation était non-seulement indiqué, mais il était même obligatoire, si je ne voulais pas être privé du terme de comparaison entre les anciennes expériences et les nouvelles.

[1] Complément du mémoire inséré dans les *Archives de l'Electricité*, tome IV (année 1844), p. 491.

[2] *Annales de Chimie et de Physique*, nouvelle série, t. XI, p. 458.

Afin de prouver la concentration de la force magnétique vers la surface des aimants, j'avais pris dans un canon de fusil *A* une portion formant un tube de 20 centimètres de longueur, de 22 millimètres de diamètre extérieur, dont le poids était de 280 grammes; j'y avais introduit un cylindre de fer doux qui en remplissait la capacité; il avait 16 millimètres de moins en longueur et pesait 340 grammes. Le tube de fer était contenu dans un manchon de laiton enveloppé de fils de cuivre couverts de soie, pour le constituer à l'état magnétique. Je prouvais la concentration vers la surface du tube, en comparant la force magnétique qu'il possédait lorsqu'il contenait le cylindre additionnel, à celle qu'il conservait quand il en était séparé.

Voulant démontrer que la force magnétique est concentrée très-près de la surface, puisqu'il est impossible de prouver qu'elle l'est absolument à la surface, et comme on ne pouvait le faire qu'en conservant la surface du même aimant et en diminuant de plus en plus sa masse, j'ai pris dans le même canon de fusil deux autres portions parfaitement égales en longueur et en capacité; j'en ai diminué la masse, sur le tour, au point que cette seconde coupe *B* pesait seulement 160 grammes, et la troisième *C* seulement 90. Toutes trois, d'ailleurs, ont été armées du même manchon inducteur, et remplies ou privées du cylindre solide dont le poids, tel que je l'ai indiqué, a été constamment de 340 grammes.

Les différences dans la force magnétique communiquée aux trois pièces de notre appareil, ont été appréciées, comme dans le premier mémoire, par la boussole de sinus, mais principalement par les oscillations de l'aiguille qui offrent des résultats plus constants et plus faciles à constater. L'aiguille employée était aimantée à saturation, très-mobile et fixée dans une position invariable. Elle indiquait et mesurait les forces relatives des trois aimants, par le nombre des oscillations exécutées dans une durée de 45″. L'appareil est demeuré constamment dans la direction de l'équateur magnétique, et l'on a fait état 1° de la

force communiquée à l'aiguille par le courant terrestre ; 2° de la même force résultant de l'action de la terre et de la force propre des pièces de l'appareil, agissant par leur seule énergie ; 3° encore de cette même force résultant de l'induction ; 4° enfin de toutes ces forces réunies et combinées, ce qu'indique le tableau suivant :

	Influence de la terre sur le tube plein.	Influence de la terre sur le tube vide.	Influence du courant d'induction sur le tube plein.	Influence du courant d'induction sur le tube vide.
A poids de 280 grammes....	15 à 16 oscil.	14 à 15 oscil.	72 oscil.	72 oscil.
B poids de 160 grammes....	15 à 16 id.	14 à 15 id.	72 id.	71 id.
C poids de 90 grammes....	15 à 16 id.	15 id.	71 id.	70 id.

Une aiguille de moindre dimension que la première, mais donnant un nombre plus grand d'oscillations dans le même temps, a été consultée comparativement et quoique, en raison de leur rapidité, il puisse s'être glissé quelque erreur légère dans la supputation de ces oscillations, elles ont cependant confirmé les expériences que nous venons de rapporter, n'ayant varié, qu'entre 89 et 91 oscillations, toujours en 45″, soit que les tubes eussent été pourvus du cylindre additionnel, soit qu'ils en fussent privés.

Les expériences faites avec la boussole de sinus, comme dans le premier mémoire, ont encore concouru à confirmer l'exactitude des résultats que nous venons de rapporter, soit que chacun de nos tubes ait été aimanté par induction, soit qu'il ait été pourvu ou privé du cylindre additionnel. Si maintenant nous comparons entre eux les résultats des expériences exécutées avec l'aiguille, nous trouvons qu'en retranchant 40 oscillations produites par l'induction, et 22 par l'action de la terre, il en reste 18 à 20 qui représentent l'état magnétique des tubes

vides et pleins ; et comme avec des masses très-différentes leurs surfaces diffèrent très-peu, on doit attribuer l'égalité frappante des résultats à la surface sur laquelle s'accumule la charge magnétique.

Ayant réduit le tube *C* n° 3 à une épaisseur qui n'excédait pas celle d'une feuille de la tôle employée à conduire la fumée des poêles, et forcé de renoncer à un amincissement plus grand, j'ai dû chercher d'autres preuves de la concentration de la force magnétique à la surface des aimants. Je pense les avoir trouvées dans les procédés du magnétisme par rotation, en soumettant à l'influence d'un aimant rotateur des disques métalliques de la plus faible épaisseur. La rotation en effet, dans cette classe d'expériences, selon la théorie que nous avons adoptée [1], n'étant produite que par le développement instantané de la force magnétique dans les parties du disque qui correspondent aux pôles de l'aimant, ces faits se rattachent évidemment au sujet que nous traitons. Comme les disques employés sont tout en surface, ne sommes-nous pas nécessairement conduit à considérer les effets comme des arguments en faveur de la concentration de la force magnétique à la périphérie des corps dans lesquels elle se développe? Quelle qu'en soit au reste l'explication, ces faits offriront toujours des phénomènes curieux, qui prouvent invinciblement le peu d'influence de la masse dans le développement du magnétisme.

Les conditions exigées pour le succès de ces expériences consistent : 1° à donner aux disques un diamètre égal à la longueur de l'aimant rotateur ; 2° à diminuer autant que possible leur force d'inertie par la diminution de leur masse, ce qu'on obtient en collant sur des cartons minces les feuilles métalliques employées, quand elles ont trop peu d'épaisseur pour conserver leur forme lorsqu'on les place horizontalement ; 3° à suspendre les disques à des fils de cocon dédoublés, avec de petits cro-

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXVII, p. 203.

chets de 5 à 6 centimètres de longueur, qui s'implantent aux sommets de petits cônes en bois, dont la base se fixe au centre de la surface supérieure du disque, avec une substance emplastique; 4° à les maintenir dans une situation horizontale et à la plus petite distance possible de l'aimant, dont ils doivent être séparés seulement par la glace mince qui couvre l'aimant rotateur.

Les disques que j'ai employés sont d'espèces très-variées; il ne sera question ici que de ceux qui sont formés avec des substances métalliques. Plus denses que les autres substances, les métaux, réunissant sous le même volume un plus grand nombre de molécules, sont nécessairement le plus facilement magnétisables; et l'application de l'agent magnétique aux corps de cette classe est d'autant plus efficace, pour en opérer la rotation, que plusieurs, susceptibles d'être réduits en feuilles minces, sont plus avantageusement soumis à l'action de l'aimant rotateur, et en éprouvent plus facilement l'influence. Toutefois, les différences qu'ils présentent ne répondent pas à leur densité, en sorte que le fer et le cuivre, dont la densité est moindre que celle de plusieurs d'entre eux, tels que le platine, l'or, le plomb, sont cependant bien plus facilement magnétisables.

J'avais essayé d'apprécier approximativement ces différences au moyen du petit cabestan micrométrique, sur lequel s'enroule le fil suspenseur des disques. Ce petit instrument est fixé au sommet de la cloche de verre qui abrite les disques, et dont le col leur transmet le fil de suspension. Les disques métalliques dont l'épaisseur est trop peu considérable pour conserver leur forme dans une position horizontale, doivent être fixés sur des disques de carton, comme on l'a dit. Il serait trop hardi d'affirmer que la dureté soit absolument sans influence; mais ici, comme la surface est autrement grande relativement à la solidité, ces disques fournissent encore un argument favorable à l'opinion émise dans la première partie de ce mémoire complémentaire.

La manière de déterminer la rotation des disques métalliques ne diffère en rien du procédé ordinaire. Une rotation uniforme et d'une vitesse moyenne est ce qui convient le mieux ; seulement, quand ces disques paraissent peu disposés à recevoir l'influence de l'aimant, on peut déterminer la rotation en commençant par la méthode des oscillations, et même encore en imprimant aux disques le mouvement le plus léger possible, que l'on accélère en faisant osciller l'aimant, ainsi que je l'ai expliqué ailleurs[1]. A l'aide de cette manœuvre, on finit par leur donner un mouvement à la vérité fort lent, mais que l'on rend plus sensible en plaçant un repère à leur surface supérieure.

La ductilité étant la condition indispensable pour réduire les métaux en lames minces, il semblait que pour ceux qui en sont dépourvus nous dussions être privés du moyen par lequel nous avons reconnu la condensation du magnétisme à la surface de plusieurs substances métalliques ; mais le fer, après avoir perdu sa cohésion, s'étant montré susceptible d'acquérir le magnétisme et même de former des aimants doués de polarité, quand on en réunit les parcelles dans des tubes allongés, et qu'on les tasse modérément, j'ai présumé que les métaux fragiles réduits en poudre se montreraient encore sensibles à l'influence magnétique[2] ; c'est, en effet, ce que l'expérience a confirmé. Des disques de carton suspendus comme nous l'avons dit, et couverts à leur face inférieure de poudres de bismuth, d'antimoine, de cobalt et d'arsenic fixées avec de la colle, ont tous obéi à l'influence de l'aimant rotateur. Faisons observer cependant qu'on ne doit pas s'attendre à les voir prendre immédiatement un mouvement rapide, comme cela a lieu pour les disques minces de fer ou de cuivre. Ce mouvement en effet n'est ni subit ni rapide, parce qu'il faut d'abord que la force d'inertie du disque soit surmontée par l'action de l'aimant rotateur, et que ce n'est

[1] *Mémoires de l'Académie de Nancy*, 1840.

[2] *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXV, p. 214, année 1837.

que par la répétition de nombreux efforts magnétiques, c'est-à-dire après plusieurs révolutions, que cette résistance est vaincue, et de plus parce qu'il faut détruire l'obstacle produit par la raideur du fil de suspension. Cette résistance ne doit pas être négligée, parce que souvent le poids des disques ne permet pas d'employer des fils simples de cocon, mais des fils composés au moins de quatre de ces fils élémentaires. Leur résistance, en effet, devient évidente dès qu'on a fait exécuter au disque une demi-rotation; car alors il n'avance que très-lentement, souvent s'arrête et revient de lui-même contre la direction qui lui avait été communiquée. Ces expériences sont très-simples; toutefois elles exigent, pour obtenir l'effet désiré, quelque exercice et surtout une grande patience.

La dernière partie de mes expériences doit être considérée plutôt comme propre à compléter le mémoire sur les causes de l'altération de la force magnétique [1], qu'à prouver la concentration de cette même force à la surface des aimants. Ces expériences ont été exécutées avec des disques de carton couverts de poudres métalliques dans lesquelles la disposition à recevoir l'influence magnétique était affaiblie, ou presque éteinte par la combinaison avec des substances peu ou pas magnétisables par le mouvement communiqué, telles que le soufre, le phosphore, le carbone, l'oxigène.

Les composés de fer et de ces substances se montrent, en effet, des plus indifférents à l'influence de l'aimant rotateur. Le sulfure de fer est le premier sur lequel j'ai observé quelques indices de disposition à recevoir l'état magnétique. L'espèce employée appartenait à un cube très-régulier de sulfure naturel. Un autre essai a été fait avec le sulfure artificiel composé de parties égales de l'une et de l'autre substance; et comme ce composé, que l'on doit considérer comme l'un des plus riches en soufre, ne montrait que de faibles dispositions à acquérir

[1] *Mémoires de l'Académie de Nancy*, 1843.

l'état magnétique, il n'était pas sans importance de constater si ces dispositions variaient avec les proportions des éléments de ce composé.

Les essais faits dans ce but m'ont prouvé que la disposition au magnétisme diminuait à mesure que croissait la proportion du soufre. Déjà les minéralogistes avaient reconnu cette vérité en admettant parmi les minéraux les moins riches en soufre une espèce à laquelle ils ont donné le nom de pyrite magnétique. J'avais espéré trouver dans le petit cabestan micrométrique le moyen d'apprécier, au moins approximativement, le rapport qui sans doute existe entre la disposition à acquérir l'état magnétique et les proportions relatives du soufre uni au fer; mais les différences inappréciables dans les distances auxquelles l'aimant rotateur agit ou cesse d'agir sur les disques, ont opposé à mes vues un obstacle insurmontable. La combinaison du carbone avec le fer a été moins significative encore à raison du petit nombre de combinaisons en proportions définies qui existent entre ces deux substances. La plus riche en carbone, le tricarbure obtenu de la décomposition du bleu de Prusse par le calorique, n'a montré aucune disposition à prendre l'état magnétique, tandis que l'acier et la fonte, que l'on considère comme peu chargés de carbone, sont, on le sait, facilement magnétisables, moins cependant que le fer, ainsi que nous l'avons prouvé [1].

La chimie, qui n'admet que deux degrés dans l'oxidation du fer, nous laisse aussi fort peu d'espérance de parvenir à la solution de la question que nous nous étions proposée. En effet, tous les oxides que l'on regarde comme moins chargés d'oxigène que le sesquioxide ou colchotar, tels que le safran de mars, l'oxide obtenu par la décomposition de l'eau, la rouille, les batitures, etc., que l'on considère comme oxidés au minimum, sont tous à peu près également magnétisables, tandis

[1] *Mémoires de l'Académie de Nancy*, 1838.

que le sesquioxide a offert une indifférence qui ne peut être vaincue que par le procédé de Coulomb.

Ces exemples sont, sans doute, peu propres à éclairer la question sur la disposition au magnétisme conservée par le fer dans ses combinaisons. Cependant on ne peut méconnaître que la combinaison n'éteint cette disposition que quand la proportion du corps combiné au fer est considérable, comme dans le sesquioxide qui, sur cent parties de fer, contient près de la moitié d'oxigène. Ce métal, la plus magnétisable de toutes les substances de cette classe, ne perd donc la propriété qui le distingue, que quand l'équivalent qui lui est donné prédomine dans la combinaison. Ici l'agent magnétique se montre moins puissant que la lumière, laquelle éprouve les mêmes modifications par les composés que par leurs éléments, ce que Mr. Biot a prouvé dans ses recherches sur la polarisation des liquides. Tous les faits que nous venons de rapporter ont encore été confirmés par un autre moyen, qui consiste à magnétiser des tubes de verre remplis des poudres métalliques dont nous avons parlé, et à les essayer avec une aiguille astatique d'une grande sensibilité.

Si, d'après les inductions qui semblent résulter de ces expériences, on essayait de remonter à la cause de l'altération de la force magnétique dans les combinaisons du fer, et qu'on la cherchât dans les lois de l'affinité, on ne parviendrait pas à en dissiper l'obscurité ; car il est des composés dans lesquels toutes ou presque toutes les propriétés des éléments du composé sont détruites, tandis qu'il en est d'autres dans lesquels une ou plusieurs de ces propriétés subsistent en partie après la combinaison. On ne serait pas plus heureux en cherchant cette cause dans l'arrangement moléculaire, puisque l'état magnétique subsiste dans les aimants qui ont subi des modifications évidentes dans cet arrangement. Mais ne pourrait-on pas supposer quel serait le résultat d'opposition de la force magnétique des parties composantes, lorsque, les unes étant positives et les autres

négatives, elles se neutraliseraient réciproquement, comme je l'ai montré dans les aimants formés de particules de fer sans cohésion, dont on change les situations respectives en leur communiquant des secousses capables de les faire tourner sur elles-mêmes, de se correspondre par des pôles hétéronomes et, par là même, de se neutraliser[1]. Au reste, je me suis assuré que le mélange ne suffit pas pour modifier la disposition à acquérir la force magnétique. C'est donc à l'affinité qu'il faut reconnaître le pouvoir le plus énergique pour diminuer cette force dans les corps. Si l'on voulait se livrer aux recherches indiquées par ces considérations, on aurait à examiner non-seulement l'altération de la disposition à acquérir la force magnétique dans les sels à base de fer, mais auparavant, les modifications produites par les alliages de ce métal dans lesquels cette disposition semblerait devoir se conserver plus complétement. On sait déjà que, dans quelques-uns, cette disposition est plus ou moins altérée, ce dont je me suis assuré pour le nickel dans le *pafong;* mais ces recherches exigent un nouveau travail.

Des faits compris dans ce second mémoire on peut conclure, comme déjà je l'ai fait à la suite du premier :

1° Que la masse exerçant très-peu d'influence sur la force des aimants, celle-ci réside nécessairement dans les couches moléculaires qui composent les surfaces.

2° Que l'instrument du magnétisme dont les phénomènes sont rendus sensibles par le mouvement, pouvant rendre cette force appréciable dans les substances métalliques dont la surface a une étendue extrêmement grande, relativement à la solidité, on en peut tirer un argument très-favorable à la loi de concentration de la force magnétique à la surface des aimants.

3° Que, par le moyen de cet instrument, on peut rendre sensible la disposition à acquérir la force magnétique dans des substances métalliques privées de la force de cohésion entre

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXV, p. 211.

leurs parties constituantes, et même dans celles qui sont composées de parties hétérogènes, et tirer de là des preuves en faveur de l'universalité du magnétisme.

DE L'ÉLECTRICITÉ DES PLANTES DANS LES DIFFÉRENTES PHASES DE LEUR DÉVELOPPEMENT, par le rév. E. Sydney. (*Walker's Electric. Magaz.*, juillet 1845.)

On sait que depuis longtemps il y a parmi les savants quelques vagues idées sur certains rapports qui pourraient exister entre l'électricité et la végétation, cependant jamais rien de précis n'a été énoncé à cet égard. De temps en temps l'on a fait quelques expériences isolées; mais c'est à cela qu'on s'est toujours borné. Mr. Sydney n'a point cherché à présenter aux membres du *Royal Institution*, des théories qui, fondées sur des éléments si insuffisants et si incomplets n'auraient pu être que décousues et mal digérées. Sa seule ambition est de montrer le résultat de ses humbles efforts à la recherche de la vérité, de jeter un rapide coup d'œil sur les quelques faits dont nous sommes en possession, et d'encourager les physiciens et autres savants qui ont le temps et les connaissances suffisantes, à diriger leur attention sur un champ de recherches qu'on a peut-être trop négligé. Dans ce but, il présente cinq propositions dont nous allons donner la substance.

1° *L'électricité* paraît *exercer une influence sur la croissance des plantes*. — L'auteur appuie sur le mot *paraît;* il ne voudrait point, dans l'état actuel de la science, affirmer que cette influence s'exerce réellement; il veut simplement, sans commentaire aucun, faire allusion à certains faits où cette influence paraît probable. A cette occasion, il cite une expérience faite à Edimbourg, en 1746, sur des myrtes dont la vigueur s'accrut quand ils eurent été soumis à l'influence de l'électri-

cité, des graines qui furent électrisées avec avantage par l'abbé Nollet, des plantes qui, soumises au même traitement par Bertholet, présentèrent les mêmes résultats, et des expériences faites par Jalibert et Pouillet, expériences où l'on faisait l'air positif et les plantes négatives; il dit en même temps deux mots d'expériences faites par Ingenhouz, qui obtint des résultats contraires, et il mentionne une observation rapportée par Mr. Pine, et que nous donnons en entier :

« Un médecin électricien, demeurant à Maidstone, et possesseur d'une puissante machine qui était souvent en action pendant toute la journée, m'affirma les faits suivants : — Un narcisse, qu'une longue négligence avait réduit à un état de dépérissement, ayant été placé dans mon laboratoire, ne tarda pas à présenter les signes d'une vigueur extraordinaire; il parvint à une hauteur de 36 pouces, c'est-à-dire de trois fois sa hauteur ordinaire; ses fleurs gardèrent leurs couleurs, tandis que les graines se formaient déjà, et elles tombèrent sans avoir pris une apparence flétrie. Un lis à chapeau turc se fanait durant les heures de la nuit, et sa force revenait avec l'action de la machine. » — Mr. S. rapporte encore d'autres exemples de l'heureuse croissance de graines électrisées, et l'opinion de Davy en faveur de l'influence de l'électricité. Ensuite il mentionne une expérience qu'il a faite lui-même, et dans laquelle une jacinthe isolée et électrisée a surpassé en vigueur une autre qui croissait dans des circonstances ordinaires. L'isolement était tel qu'il a tiré une étincelle de la plante 48 heures après qu'elle avait été électrisée. Loin de vouloir se hâter de tirer des conclusions de ces faits, l'auteur les cite seulement comme venant à l'appui de la proposition qu'il a énoncée, savoir que l'électricité paraît exercer une influence sur la végétation.

2° La seconde proposition c'est que *les fluides contenus dans les tissus végétaux ont une grande force conductrice.* — Pour le démontrer, l'auteur a déchargé le principal conducteur d'une puissante machine, en en approchant des tiges

d'herbes, des plantes en croissance et d'autres objets semblables. Nous n'avons pas tout à fait saisi ses idées à ce sujet, mais nous croyons lui avoir entendu dire qu'il n'a pas, un seul instant, pu regarder les tissus végétaux comme meilleurs conducteurs que les fils de métal, ainsi que l'avait fait Mr. Pine. Les expériences étant, non pas comparatives, mais très-générales, indiquent, autant du moins qu'on peut le présumer, que les pointes des végétaux, de même que d'autres pointes, attirent l'électricité, et que les fluides renfermés dans les tissus végétaux conduisent, comme d'autres fluides, de l'électricité à une forte tension. Mr. S. a présenté un morceau de bois sec qui avait été brisé par la foudre pendant un orage dans le Norfolk, et il a fait voir que ce sont les parties moisies et non les parties sèches qui conduisent l'électricité. Il a parlé aussi de l'impossibilité de faire passer une secousse électrique à travers un cercle de personnes placées sur du gazon. Il a mentionné l'expérience de Mr. Pine dans laquelle il avait été démontré qu'une bouteille de Leyde, ayant 46 pouces carrés de surface métallique, était déchargée coup sur coup en 4 minutes 6 secondes, par l'extrémité d'une plante; tandis que la même bouteille, chargée au même point, exigeait 11′ 18″ pour être déchargée par une pointe métallique : dans les deux cas le conducteur était à la même distance.

A ce sujet, Mr. S. a fait remarquer un dessin de l'électroscope à feuille d'or de Mr. Weeke, dans lequel ce physicien a remplacé la pointe métallique ordinaire par une branche de brusc. Dans une lettre adressée à Mr. Pine, Mr. Weeke rend compte en ces termes de l'action de cet instrument : « Armé de vos conducteurs végétaux, l'instrument a donné des indices d'électricité dans des nuages qui passaient à une grande hauteur et dans diverses autres circonstances où des électromètres armés de pointes métalliques, placés à côté, ne donnaient aucune indication quelconque. Pour moi, cela me semble démontrer d'une manière incontestable la supériorité des conducteurs végétaux. »

Après avoir cité quelques autres faits, il a passé à la troisième proposition, savoir que :

3° *Dans la forme des plantes aux différents états de leur développement, il y a des indices de leur aptitude à subir l'influence électrique.* A cette occasion il a fait remarquer les formes pointues des plantes dans leur période d'accroissement, en opposition avec l'absence de pointes qu'elles présentent à l'époque de la fructification. Une autre remarque qui a été faite, c'est qu'une trop grande excitation est très-contraire à la production des fruits ; ainsi, un poirier cesse de porter des poires dans un climat tropical ; et il semble que ces pointes, par lesquelles arrive l'excitation électrique, sont mises de côté quand les effets produits par cette excitation deviendraient nuisibles.

4° *N'y a-t-il pas des phénomènes naturels qui confirment notre manière de voir?* — Nous savons que la vigne et le houblon croissent avec beaucoup de vigueur après les orages à éclairs, et Mr. Sydney ne peut partager la croyance vulgaire que l'effet soit dû à la destruction des pucerons par cette espèce d'orage ; il n'admet pas que les pucerons soient si aisément détruits. Les jardiniers savent bien aussi que les pois prennent un plus grand développement après un coup de tonnerre. Mr. S. rappelle en outre la sécheresse de l'air au printemps, sécheresse qui a pour conséquence le pouvoir isolant de l'air, à l'époque de l'année où il semble que la végétation a le plus besoin d'excitation électrique. On peut juger de l'importance de la sécheresse dans cette saison, d'après le proverbe bien connu : « Un boisseau de poussière, au mois de mars, vaut la rançon d'un roi. » — Mr. S. a parlé aussi de l'influence de l'électricité pour aider les fluides dans leur passage à travers des tubes capillaires. Il a mentionné de même l'influence des palmiers pour soutirer l'humidité de l'air ; et en faisant connaître l'observation de Mr. White, que les arbres sont de parfaits alambics, il a rappelé notre propre notice sur le fait qui eut lieu à Streatham, le 19 mars 1843. Voici ce que nous disions : « Ce phénomène

se présenta d'une manière si particulière à mon attention durant la matinée et la soirée du 19 de ce mois, jour caractérisé par un fort brouillard, et qui avait été précédé par plusieurs belles journées de printemps, sans nuages, que je ne crois pas hors de propos de dire qu'il y avait beaucoup d'indices de l'action d'un pouvoir autre que celui qu'on croit ordinairement présider à la production de pareils effets. Les routes étaient sèches et couvertes de poussière par places ; mais le terrain autour des arbres, spécialement autour des grands arbres, était à la lettre inondé, c'est-à-dire aussi mouillé que si une forte averse d'été y fût tombée. Je ne pouvais attribuer ce phénomène à une simple condensation de vapeur aqueuse, car il ne se présentait point au même degré près des abris et des bâtiments, etc. » A ces faits il a joint des observations sur les simoums. Selon lui il n'y a point de plantes là où règnent ces vents, qui paraissent dus à une grande électricité dans l'état de l'atmosphère ; et il a rapporté les observations de Brydone sur les différents caractères du terrain sec et du terrain couvert de végétation, caractères qu'il a vérifiés lui-même sur le mont Etna ; il a cherché même à les démontrer en faisant voir l'effet différent produit par un morceau de craie sur le conducteur chargé, selon que cette craie est pure ou qu'elle est recouverte de mousse.

La cinquième proposition était la suivante : *Les propriétés électriques des plantes ne sont-elles pas influencées par leurs formes et par leur distribution géographique?* — En réponse à cette question, Mr. S. a jeté un rapide coup d'œil sur le splendide feuillage des tropiques, et sur les plantes à feuilles persistantes des régions froides, avec leur multitude de pointes, comparées avec les arbres à feuilles caduques et arrondies de nos climats plus tempérés. A cette occasion, il a fait allusion à l'ouvrage de Williams, intitulé *Le climat de la Grande-Bretagne*, livre peu connu maintenant, et qui contient plusieurs idées très-originales, relativement à l'électricité végétale, entre autres l'étrange proposition d'électriser l'atmosphère de la Grande-Bre-

tagne. Nous croyons faire plaisir à nos lecteurs en reproduisant cette proposition que Mr. Sydney a exposée en peu de mots : « Supposons un bâtiment fourni de machines à peu près semblables à un moulin à coton ou à soie ; les divers mouvements s'opèrent par des cylindres ou des plaques de verre munis de frotteurs, pour développer l'électricité, et arrangés de façon que toute la matière électrique se porte sur une barre verticale isolée, qui se termine en dehors du toit du bâtiment dans un grand réceptacle ou dans une série de réceptacles et de pointes pour disperser de nouveau la matière électrique dans l'air ambiant. J'ai trouvé, par le calcul, que la force qui met en activité une couple de meules de moulin ordinaires, suffirait pour faire marcher 1200 cylindres ou plaques de verre. Deux ou trois bâtiments de la nature de celui que je viens de décrire, placés avec l'appareil nécessaire dans chaque comté, ne suffiraient-ils pas pour rendre les saisons plus favorables à la santé de nos moissons croissantes ? — Des machines aussi puissantes que celle que j'ai décrite, pourraient peut-être occasionner des accumulations locales de matière électrique et causer ainsi de fréquents orages. Pour y remédier, on les remplacerait simplement par un plus grand nombre de plus petits instruments placés dans différentes parties du pays. »

Mr. Sydney a parlé ensuite des récentes expériences faites, par Mr. Forster, à Findrossie dans le Morayshire. Comme ces expériences ont fait du bruit dernièrement, nous citerons les paroles suivantes que nous extrayons d'un rapport qui a été lu le 18 octobre 1844, devant le *Tring Agricultural Association* du comté de Hertford, par le président de cette société, rapport qui nous est parvenu dans une circulaire dont le but était de proposer la formation d'une *Société électro-agricole*.

Mr. Forster, ayant recueilli tous ces faits et bien d'autres encore relatifs à l'électricité, résolut de planter deux pieux, hauts de quatre pieds, dans une pièce de terre qui avait été récemment semée d'orge chevalier et d'herbe, après avoir été

drainée et labourée par-dessous ; par-dessus ces pieux, placés dans la direction du nord au sud, il tendit un fil de fer ordinaire, dont il fixa les deux extrémités à de fortes chevilles de bois enfoncées dans le sol, et sur l'un des bords d'un espace (plot) de huit perches anglaises[1]; et le long des bords de ce champ, qui formaient des lignes droites, il ensevelit deux fils de fer d'égale longueur, à 2 ou 3 pouces dans le sol, de façon que leurs extrémités fussent en contact avec les extrémités du fil de fer suspendu. Celui-ci ne doit pas être trop tendu, car sa contraction dans les nuits froides le ferait rompre, ou arracherait les piquets, ce qui empêcherait d'obtenir le résultat désiré. »

Ensuite, après avoir appris quel est le pouvoir des parties pointues des plantes pour conduire l'électricité, il craignit que ses pieux ne fussent trop courts et que, « lorsque les épis d'orge auraient un pied de haut, toute l'électricité que le fil de fer suspendu pourrait avoir amassée et conduite à travers le fil de fer enseveli vers les racines des plantes, ne fût attirée par les extrémités de l'orge, qu'ainsi le fil suspendu, ne recevant rien de l'air, ne pût point fournir d'électricité, et que toute l'influence électrique additionnelle ne vînt à cesser. En conséquence, Mr. F. planta, le jour suivant, deux autres pieux hauts de 11 pieds, avec des fils de fer, etc., le tout parfaitement de la même manière que précédemment, à l'exception que l'espace entouré par les fils ensevelis était de 24 perches.

Tous les résultats ne sont pas encore (1er octobre 1844) complétement connus ; mais les suivants sont hors de doute :

1° Les épis d'orge, dans les deux petites pièces de 8 perches chacune, prirent bientôt une couleur plus foncée, et leur croissance fut plus rapide, jusqu'à ce qu'ils atteignirent environ un pied de haut ; alors la couleur foncée disparut peu à peu, et au bout de 15 jours il n'y avait plus de différence sensible que

[1] La *perche* ou *pole*, vaut 16 1/2 pieds anglais, soit 5,09 mètres.

dans la hauteur, différence qui elle-même cessa d'être remarquée à mesure que la moisson approchait.

2° Quand l'orge du second carreau, celui de 24 perches, eut 6 pouces de haut, elle prit la même couleur vert foncé, et crût plus rapidement que les épis d'orge environnants non électrisés ; cette différence persista jusqu'à la fin, seulement, comme il va sans dire, la couleur devint jaune avec le temps. C'était curieux de voir ce changement s'effectuer là plus tard que dans le reste de l'orge. Le nombre des épis était aussi plus grand, et chaque épi, lors de la moisson, était plus volumineux ; enfin le grain devint plus gros et plus dur.

« Afin d'acquérir une nouvelle certitude, Mr. Forster fixa aux pieux courts, de 4 pieds de hauteur, de l'un des petits carreaux, des pièces de bois de pin sec, hautes de 8 pieds, et il y suspendit 2 fils de fer, l'un à cette dernière hauteur, l'autre à 4 pieds plus bas, et il eut la satisfaction de trouver qu'au bout de quelque temps l'orge reprit, par places, sa première couleur vert foncé. »

Dans une lettre du 29 novembre 1844, Mr. Forster dit :

« Je puis, aujourd'hui seulement, vous donner la bonne nouvelle qu'avant-hier j'ai battu, pesé et mesuré l'orge chevalier, cultivée à l'aide de l'électricité. L'espace qu'elle occupait était de 23 perches, la dernière des 24 perches électrisées ayant été semée d'orge Victoria. Le produit pour les 23 perches a été de 15 boisseaux [1] de grains; le boisseau pesant 54 liv. $^1/_4$ (2 liv. $^1/_4$ de plus que le poids ordinaire), cela m'a donné 104 boisseaux par acre [2]. Le poids de la paille pour les 23 perches a été de 9390 livres par acre. Je ne connais pas le poids ordinaire de la paille d'orge pour un acre, mais il doit être facile de le trouver et de le comparer avec ce poids-ci. »

Après avoir mentionné les expériences dont nous venons de

[1] Le boisseau vaut 36,34 litres.
[2] L'acre vaut 160 perches carrées, ou un peu plus de 40 arcs.

donner un récit authentique, Mr. Sydney a décrit certains arrangements qui ont été faits par le professeur Ed. Solly, dans les jardins de la Société d'Horticulture de Chiswick. Dans un endroit, par exemple, il a tendu sur des pieux des fils de fer auxquels sont suspendus d'autres fils de fer qui descendent vers la récolte ; ailleurs, les fils de fer s'élèvent du champ au contraire ; d'autres arrangements paraissent encore avoir été faits. Mr. Sydney a parlé ensuite d'arrangements galvaniques, dont quelques-uns, dirigés par lui-même, ont donné des indices certains de succès. Il a enseveli des plaques métalliques de façon que le courant développé passât à travers les plantes. Il a présenté des échantillons de pommes de terre et d'autres produits agricoles, dans lesquels le contraste entre les plantes ordinaires et les plantes galvanisées était évident. Il a mentionné des pins, de la moutarde, du cresson, du cineraria, de la fuschia, et d'autres végétaux, comme ayant été soumis avec succès au traitement électrique, qui du reste a tué un geranium et détruit des balsamines.

En résumé, Mr. S. a donné à entendre que son seul objet, en exposant ces divers faits, était d'attirer l'attention des physiciens, de façon à provoquer la détermination des vrais rapports qui lient l'électricité à la végétation, et à faire découvrir la meilleure manière de les combiner ensemble. Il nous a paru que Mr. Sydney regarde l'électricité comme pouvant donner lieu à d'utiles applications dans l'horticulture. La question agricole reste cependant sans solution pour le moment ; les données sont si faibles et les faits si égrenés, que l'expérience seule peut nous éclairer ; quand un plus grand nombre d'essais auront été faits, et beaucoup se font dans ce moment, le physicien aura des matériaux sur lesquels il lui sera possible de travailler, et alors seulement on pourra espérer de trouver une solution à cette question.

NOTICES GALVANIQUES, par G.-S. OHM. (*Poggend. Annal.*, tome LXIII, page 389.)

En publiant les faits qui vont suivre, je n'ai pas d'autre but que de ramener sur le terrain auquel ils appartiennent réellement divers phénomènes qui ont été souvent l'objet de considérations théoriques. Depuis assez longtemps, plusieurs physiciens très-distingués ont cru pouvoir renverser la théorie du contact en s'aidant d'expériences dont le résultat restait pour le moins aussi obscur que ce qu'il était destiné à éclaircir ; et l'on a vu, à cette occasion, énoncer quelquefois ouvertement l'intention d'augmenter autant que possible le nombre de ces phénomènes imparfaitement connus, et de les modifier de toute manière, comme si l'abondance des arguments pouvait en dissimuler la faiblesse. Je me propose aujourd'hui, tout au contraire, de jeter un nouveau jour sur quelques-uns de ces mystérieux phénomènes, pour en augmenter l'utilité au point de vue de la théorie ; toutefois je m'abstiendrai à dessein, pour le moment, de parler d'aucune application pratique, me réservant d'y revenir dans une autre occasion.

1. — *Sur la manière dont le fer se comporte dans une solution de sulfure de potassium.*

Mes expériences m'ont confirmé l'exactitude de la description qu'a donnée Faraday de la manière dont le fer se comporte à l'égard du platine, sous le rapport voltaïque, dans une solution de sulfure de potassium. Immédiatement après la clôture du circuit, le fer s'est montré légèrement négatif à l'égard du platine, l'aiguille a dévié jusqu'à 70°, mais au bout d'un

petit nombre de minutes, elle était déjà revenue à 5°; du papier humecté d'eau acidulée et introduit entre le platine et le fer a fait développer un courant plus fort, qui cependant au bout de quelques minutes n'a plus donné qu'une déviation de 20°. Je fais remarquer, à cette occasion, que mon galvanomètre était formé d'un fil très-mince de cuivre faisant plusieurs milliers de tours, et avait une aiguille simple, et que dans cette expérience on peut obtenir aussi un premier effet en sens inverse, si on a laissé longtemps reposer la solution de sulfure de potassium, et qu'elle se soit ainsi décomposée.

J'ai remarqué cependant, dans le cours de ces expériences, que, si on frotte assez fort avec le bord d'une lame de verre, la partie du fer qui est plongée dans la solution de sulfure de potassium, l'action du fer devient positive, de négative qu'elle était, et acquiert une intensité d'autant plus grande que le frottement a été plus rapide et plus étendu. Et ce renversement du courant n'est point dû, comme on pourrait le croire, à ce que le liquide est agité et monte le long du métal; il est aisé de s'en convaincre, puisque l'effet en question n'a pas lieu quand on se contente de faire glisser sans pression la bande de verre sur le fer, mais de façon à produire dans le liquide une agitation beaucoup plus considérable que précédemment.

Cette observation m'a porté à conjecturer que l'action particulière du fer dans une solution de sulfure de potassium, était due à un encroûtement qu'il souffre dans ce liquide, et dont je me suis proposé d'étudier la nature. A cet effet, j'ai tenu plongé du fer bien décapé dans une solution de sulfure de potassium, pendant un court espace de temps; après quoi je l'ai retiré, je l'ai soigneusement lavé dans de l'eau distillée, et l'ai séché le plus rapidement possible avec du papier à filtrer. Après cette opération, le fer n'a pas paru avoir subi la plus légère altération dans la partie qui avait été plongée dans le liquide; il avait la même couleur et le même éclat que précédemment. Alors j'ai passé soigneusement sur cette partie im-

mergée une lame d'argent pur, et j'ai recueilli, avec la tranche de la lame, de petites particules à peine sensibles à l'œil nu, et dont, malgré le plus grand soin, je n'ai pu obtenir qu'un très-petit nombre. Vues à la loupe, elles avaient une couleur noirâtre. Mises sur une lame de verre propre qui reposait sur du papier blanc, et dans le voisinage d'un aimant, elles ont toutes été attirées par ce dernier; exposées au microscope sur cette même lame de verre, et mises en contact avec une goutte d'huile de vitriol, elles n'ont présenté aucun mouvement ni aucune altération, tandis que de la limaille enlevée au même morceau de fer, et mise dans la même goutte d'acide, s'est immédiatement recouverte d'une si grande quantité de bulles d'air, qu'elle cessait elle-même d'être visible.

Il m'a donc paru vraisemblable, d'après ces expériences, que le fer plongé dans une solution de sulfure de potassium s'y recouvre d'une très-fine pellicule de sulfure de fer de même nature que la pyrite magnétique. Cette conjecture a acquis pour moi un haut degré de certitude, quand j'ai remarqué que, non-seulement dans la solution de sulfure de potassium, mais dans tous les liquides salins ou acides dont on fait usage pour ces expériences, la pyrite magnétique, la pyrite sulfureuse chauffée au rouge, ou encore le fer qu'on a recouvert de soufre pendant qu'il était à la température du rouge blanc se comportent, avec le platine et d'autres corps, exactement comme le fer qui a été plongé dans une solution de sulfure de potassium, lavé soigneusement et immédiatement essuyé. Cette ressemblance d'action s'est même manifestée tout d'abord et pendant un certain temps, dans des liquides qui décomposent le sulfure de fer. Cependant, comme il convenait d'avoir des preuves plus nombreuses et plus solides de l'existence de la pellicule en question, j'ai prié mon ami et confrère, Mr. le professeur Leykauf, d'examiner si l'on pouvait soumettre cette substance à l'analyse chimique, et il m'a transmis en réponse la communication suivante, avec une complaisance qui mérite bien que je lui en témoigne ici mes remercîments.

« Le sulfure de potassium dont j'ai fait usage dans mes expériences, dit-il, a été préparé avec du soufre parfaitement pur et de l'hydrate de potasse caustique également pur, qui avaient été fondus ensemble dans une grande cornue de verre. J'ai entretenu la chaleur jusqu'à ce qu'il ne s'est plus dégagé ni vapeurs d'eau, ni vapeurs de soufre. J'ai fait avec le sulfure de potassium obtenu et de l'eau chaude une solution concentrée; j'en ai rempli complétement un petit flacon de verre que j'ai bien fermé, et dans lequel je l'ai laissée reposer pendant plusieurs jours, après quoi je m'en suis servi pour mes expériences. Avant de commencer, j'ai décapé à la lime le fer et l'acier dont je voulais faire usage; puis j'en ai râclé le plus soigneusement possible la surface avec un couteau aiguisé, et enfin je les ai essuyés avec un linge bien sec et bien propre. Il est particulièrement important de les râcler parce que, dans le décapage, les limes leur communiquent de la graisse dont elles sont enduites, et que, soit par l'effet de l'adhésion, ou de l'attraction magnétique, l'une et l'autre difficiles à détruire entièrement, il reste beaucoup de parcelles de fer dans les raies que laisse toujours la lime même la plus fine. Cette considération interdit aussi d'essuyer le fer avec de la laine, parce qu'elle graisse, ainsi qu'avec de la toile qui a été lavée au savon ou dans de l'eau séléniteuse.

« Après avoir ainsi nettoyé le fer à sa surface, aussi bien que possible, je l'ai immédiatement plongé dans la solution passablement concentrée de quinti-sulfure de potassium pur, puis je l'ai retiré au bout d'une seconde, lavé dans de l'eau distillée parfaitement privée d'air, et séché avec un linge sans le frotter. Examiné ensuite attentivement, il n'a présenté aucune altération, même sous un verre qui donnait un grossissement de 400 fois; on observait seulement une teinte un peu plus foncée sur le métal, vers la limite d'immersion. J'ai examiné alors comment se comporte le fer à *une température élevée* immédiatement après avoir été lavé et séché à l'étuve, et j'ai trouvé que

l'extrémité qui avait été plongée dans la solution de quintisulfure de potassium, répandait une odeur de soufre bien sensible, qu'on n'apercevait point ou qu'à un degré très-faible avec du fer traité exactement de la même manière mais qui n'avait pas été plongé dans le sulfure. On a même pu tenir plongé pendant quelques minutes dans de l'eau distillée bouillante le fer qui avait été immergé dans l'acide puis séché, et plusieurs personnes ont encore aperçu l'odeur du soufre, après cette opération, quand on a chauffé la partie immergée.

« Ces expériences conduisaient presque nécessairement à conjecturer que le fer pourrait s'être recouvert d'une légère couche de sulfure de fer ; et comme ce sulfure n'avait pu se produire que par voie humide, il devait s'être transformé en sulfure hydraté, et s'oxider par conséquent rapidement à l'air. En effet du fer, après avoir été plongé dans du sulfure de potassium et lavé, puis exposé à l'air pendant quelques heures seulement, s'est oxidé beaucoup plus fortement dans la partie qui avait été en contact avec le liquide que dans toute autre. La même chose a eu lieu pour du fer qui, après avoir été plongé dans l'acide, lavé et séché, a été chauffé peu à peu dans de l'eau qui renfermait de l'air ; l'altération s'est même manifestée avec plus de netteté et en moins de temps encore. Quand, après cela, on a chauffé la partie la plus oxidée, on n'a plus aperçu d'odeur de soufre, ce qui était bien naturel, puisque le sulfure qui pouvait s'y trouver devait s'être transformé en sulfate de fer basique.

« Les réactions suivantes démontrent complétement la présence du soufre sur la partie du fer qui a été immergée. — On lave, puis on sèche rapidement une lame de fer qui a été plongée dans une solution de sulfure de potassium ; ensuite on la recouvre avec une lame d'argent parfaitement pur, de façon qu'il ne reste presque plus d'air entre deux (ce qu'on obtient en frottant auparavant la lame d'argent sur celle de fer) ; cela

étant, si on chauffe fortement les deux lames à la flamme d'esprit-de-vin, celle d'argent, placée à un jour favorable, présentera une couleur parfaitement brune, mais seulement là où elle a été en contact avec la partie du fer qui a été plongée dans le sulfure de potassium; tout le reste de cette lame conserve son éclat métallique, malgré son contact intime avec le fer. Si l'exposition à la lumière n'est pas aussi favorable, les parties qui étaient brunes d'abord paraissent blanches, mais mates, tandis que le reste conserve l'éclat métallique.

« De nombreux essais faits dans le but de transformer le soufre en acide sulfurique au moyen de l'air, d'acide nitrique ou d'un autre acide, sont tous restés sans résultat, tant que la surface du fer employé n'a pas dépassé six pouces carrés; mais dès qu'elle a atteint 8 à 12 pouces carrés, la réaction a été très-sensible. Dans ces expériences, j'ai eu soin de nettoyer le fer aussi bien que possible, je l'ai plongé dans le sulfure de potassium, je l'ai lavé avec de l'eau distillée, séché soigneusement avec un linge, puis exposé à l'air humide pendant dix heures entières; enfin je l'ai traité avec de l'acide nitrique et essayé par de l'acétate ou du nitrate de baryte, qui a déterminé un précipité de sulfate de baryte.

« Comme, en traitant par l'acide nitrique le fer qui a été immergé, on doit toujours obtenir un liquide acide, et que la quantité du corps à examiner est beaucoup trop petite pour qu'il soit convenable de faire usage de l'évaporation, il n'est guère possible de démontrer la présence d'une petite quantité d'acide sulfurique au moyen du réactif dont je viens de parler. Avec un excès d'acide nitrique, surtout à une température élevée, la baryte n'en est pas moins un réactif insuffisant pour de petites quantités d'acide sulfurique. Une opération qui est particulièrement facile, c'est de démontrer la présence du soufre sur un morceau de fer qui a été plongé dans le sulfure de potassium, quand on emploie ce fer comme pôle positif d'une pile dont on ferme le circuit à l'aide d'un mélange de soude très-

pure et d'eau [1]. Il suffit de 3 ou 4 pouces carrés du fer qui a été plongé dans le sulfure, pour que la soude présente une certaine proportion d'acide sulfurique, quand on acidule la solution de soude et qu'on l'examine avec de l'acétate de baryte.

« Le protonitrate de mercure présente un réactif plus simple encore. Après avoir plongé le métal dans le sulfure de potassium, l'avoir lavé et séché, on le plonge aussitôt dans un mélange formé de huit gouttes d'une solution de protonitrate de mercure concentrée et claire, pour une once d'eau ; il suffit de quelques secondes pour que la partie qui a été plongée dans le sulfure de potassium prenne une couleur jaunâtre, et ensuite bleuâtre. Le métal décompose le protonitrate de mercure dissous ; mais le fer, dans les parties qui n'ont pas été en contact avec le sulfure de potassium, se recouvre d'une enveloppe grise qui est du mercure à l'état métallique, et qui au premier abord paraît être un protoxide de mercure. Quand la solution de protonitrate est concentrée, la réaction commence d'abord dans les parties du fer qui n'ont pas été immergées ; elles prennent une couleur gris mat ; peu après, la partie qui a été plongée dans le liquide devient brunâtre, et la limite de l'immersion du fer dans la solution de sulfure de potassium devient aussi nette que possible. Si on racle par bandes et d'un côté seulement un morceau de fer qui a été traité avec le sulfure de potassium, ces bandes présentent encore, après l'immersion dans le protonitrate de mercure, une couleur gris mat extrêmement nette, tandis que tout le reste de la partie immergée est brunâtre. Il suffit même de frotter rapidement avec de la craie du fer qui a été traité avec le sulfure, pour que la partie immergée se reconnaisse aussitôt parfaitement, quand on la plonge ensuite dans le protonitrate.

« La couche dont le fer se recouvre ne disparaît pas sous l'action des dissolvants du soufre.

[1] On a fait usage de soude préparée par la combustion du sodium.

« Si l'on frotte pendant quelque temps l'un contre l'autre, dans le sulfure de potassium, des morceaux de fer à surface brillante, on n'aperçoit pas de précipité de sulfure de fer dans la solution, pas même au bout de huit jours; mais la partie inférieure du liquide présente alors une couleur un peu plus foncée. Au bout de six à huit semaines, il y avait dans le liquide un précipité de sulfure de fer d'une ligne d'épaisseur, et d'une couleur verte parfaitement nette, tandis que la même solution ne présentait pas la moindre trace de sulfure quand on n'avait point frotté de fer à son intérieur.

« Toute combinaison de soufre et de potassium, que ce soit du proto ou du quinti-sulfure de potassium, exerce la même action sur le fer. Une solution alcoolique agit aussi comme une solution aqueuse; seulement, lorsqu'on prépare la première avec du sulfure de potassium qui renferme du soufre à l'état libre, il reste attaché à la surface du métal employé quel qu'il soit, même du platine, une très-légère couche de soufre, qui ne cède pas à un lavage à l'eau ni même à un doux frottement.

« Dans ces expériences, je me suis toujours servi de la même espèce de fer, c'est-à-dire de celle qui renferme la plus petite proportion de soufre. Je n'ai point trouvé de fer qui n'en contînt absolument point. »

2. — *Sur la manière dont le fer se comporte dans l'acide nitreux et dans l'acide nitrique.*

Ce qui précède a dû, ce me semble, mettre en évidence la cause de la manière exceptionnelle dont le fer se comporte dans une solution de sulfure de potassium; il ne peut donc plus maintenant être question de relations galvanométriques entre le fer et le platine plongés l'un et l'autre dans une solution de sulfure de potassium, mais seulement d'une relation galvanique entre le sulfure de fer et le platine plongés dans ce même liquide, et cette conséquence change complétement l'état des

choses. Quant à la manière extraordinaire dont le fer se comporte dans l'acide nitreux et dans l'acide nitrique, mes essais ne m'ont pas encore fourni des résultats aussi positifs ; cependant les travaux que j'ai faits sur ce point, et plus encore ceux de mon collègue Mr. Leykauf, fourniront les moyens de l'étudier d'une manière plus approfondie. Je vais faire connaître les résultats de nos efforts.

J'ai fait mes premières expériences avec de l'acide nitreux de couleur vert foncé, qui avait été préparé avec l'acide brun, à l'aide de la distillation du nitrate de plomb, et étendu avec un volume égal d'eau. Du fer plongé avec du platine dans cet acide a été au premier moment très-positif, cependant l'aiguille du galvanomètre n'a pas tardé à revenir près de zéro ; l'effet a donc été exactement semblable à ce que Faraday avait indiqué. Mais ce qui m'a convaincu qu'ici encore c'est à la formation d'une enveloppe qu'est dû le singulier phénomène qu'on observe, c'est que le fer est toujours redevenu de plus en plus positif, quand je l'ai frotté avec le bord d'une lame de verre dans le liquide, tandis que cela n'a pas eu lieu quand je me suis contenté d'agiter le liquide dans le voisinage du fer. Je me suis donc particulièrement appliqué à bien étudier cette enveloppe. A cet effet, j'ai retiré le fer de l'acide nitrosonitrique, je l'ai séché promptement sur du papier à filtrer, et j'en ai doucement frotté, avec une lame de canif, la partie qui avait été immergée ; aussitôt j'ai vu sur le tranchant de la lame des amas beaucoup plus considérables que ceux que j'avais obtenus sur le fer qui avait été plongé dans la solution de sulfure de potassium. Observés à la coupe, ces amas avaient un aspect terreux, et présentaient une couleur blanc verdâtre qui, au bout de peu de minutes, a passé au brun jaunâtre. J'ai obtenu la même enveloppe avec les mêmes transformations, en plongeant le fer, non plus dans l'acide nitreux vert, mais dans de l'acide nitrique pur concentré; seulement il m'a paru qu'elle ne prenait pas dans ce cas une épaisseur aussi grande que dans l'autre, et aussi que la couleur

du fer n'avait pas autant blanchi par l'effet de l'immersion; mais ces différences peuvent avoir été produites par des circonstances accessoires. Ces résultats m'ont semblé indiquer qu'il se forme, sur le fer qui a séjourné dans ces acides, un sous-sel qui est insoluble et fixe dans l'acide où il prend naissance, et qui se transforme au contraire promptement à l'air en un sel à oxide saturé; mais ces variations dans la nature de l'enveloppe, plus grandes sans comparaison que pour celle qui se forme dans la solution de sulfure de potassium, et produites également dans la couche saline adhérente au fer, sont précisément ce qui rend difficile une étude approfondie de la combinaison qui existe à l'intérieur de l'acide. Dans cet état de choses, ce que j'avais de mieux à faire, c'était de recourir une seconde fois à l'obligeance de mon ami, le professeur Leykauf; et voici les résultats de son travail, tels qu'il me les a transmis :

« L'acide nitreux pur et anhydre qu'on obtient par le refroidissement de l'acide gazeux, n'exerce aucune action sur le fer métallique pur, du moins pas à la température ordinaire. L'acide nitrosonitrique jaune rouge (obtenu à l'état de liquide plus pesant par la distillation du nitrate de plomb) n'a manifesté non plus aucune action sur le fer, aussi longtemps qu'a duré l'immersion; mais quand on a retiré le métal, quelque trace d'acide, restée adhérente à sa surface, l'a oxidée en partie, malgré la rapidité de son évaporation. Cette évaporation de l'acide et son action sur le fer s'effectuent si rapidement qu'on ne peut dans l'intervalle ni sécher le métal, ni faire aucune observation.

« L'acide nitroso-nitrique vert foncé ne paraît pas non plus attaquer le fer; le métal ressort de l'acide presque exactement avec le même éclat que lors de son immersion. En procédant avec quelque rapidité, on peut sécher la surface immergée, sans que le fer soit altéré. Si on met une légère quantité d'eau sur la partie qui a été immergée puis séchée avec précaution, l'on voit se dégager à la surface, mais seulement dans cette partie du fer, des bulles d'air visibles à l'œil nu.

« Si, après l'avoir immergé et séché, on plonge le fer, promptement et sans beaucoup agiter, dans une solution étendue d'ammoniaque, toute la partie qui était immergée dans l'acide se recouvre d'une couche verte d'oxidule de fer hydraté, qui se détache lentement du métal.

« Si on lave immédiatement le fer avec de l'eau à sa sortie de l'acide, la partie immergée se comporte avec les réactifs exactement comme si elle eût été oxidée avec un acide quelconque.

« Le fer paraît donc être recouvert d'une couche de protonitrate de fer basique, qui peut, au moyen de l'eau, se décomposer en oxidule et en nitrate oxidulé.

« Si l'on frotte fortement l'un contre l'autre deux morceaux de fer plongés dans de l'acide nitroso-nitrique et présentant une surface totale de 8 à 10 pouces carrés, l'acide se trouve ensuite renfermer de l'oxide. Il semble, d'après cela, que l'oxidule ne peut se maintenir qu'à la surface du fer, et que, dès qu'il en est séparé, il prend par l'action de l'acide un degré supérieur d'oxidation.

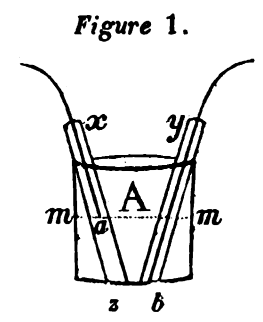
« Quand on plonge plusieurs morceaux de fer dans de l'acide nitroso-nitrique, qu'on les sèche rapidement dans de la toile à leur sortie, et qu'on les frotte les uns contre les autres dans de l'huile de térébenthine parfaitement rectifiée, on aperçoit dans celle-ci, au bout de quelques jours, un dépôt blanc formé d'un sel de fer oxidulé ; mais l'acide lui-même n'a pas pu être bien déterminé à cause de sa trop petite quantité. »

Toutes ces expériences s'accordent à prouver que la surface du fer, dans la partie qui a été plongée dans l'acide, subit une modification chimique dont on n'a pas encore complétement déterminé la nature ; mais il faut qu'on y parvienne, avant de pouvoir avec assurance se servir de ces phénomènes à l'appui d'une théorie quelconque.

3. — *Sur la manière dont le fer et l'argent se comportent dans une solution de potasse.*

L'état galvanométrique particulier du fer ou de l'argent à l'égard du platine ou des métaux voisins, dans une solution de potasse caustique, tel que l'ont décrit de la Rive et Faraday, me paraît pouvoir s'expliquer facilement dans le sens de la théorie du contact, au moyen des phénomènes généraux que j'ai fait connaître ailleurs [1]. Seulement, les très-faibles actions qui ont lieu au commencement de l'opération, ont besoin d'une explication particulière, et c'est pour en bien déterminer la nature que j'ai entrepris une série d'expériences, qui n'est cependant pas encore assez avancée pour que je puisse la publier. En attendant, je vais rapporter une expérience que Mr. Leykauf a faite sur mon invitation, qu'il a répétée en ma présence, et qui, outre le grand intérêt qu'elle a par elle-même, présente une relation frappante avec la manière dont le fer se comporte dans une solution de potasse caustique. Je me servirai, pour la décrire, des propres expressions de l'auteur :

Figure 1.



« Dans un grand verre *A* (fig. 1), rempli d'eau distillée bouillie, on a plongé, avec l'ouverture tournée en bas, deux tubes de verre *x* et *y* complétement remplis d'eau distillée également

[1] Voy. *Schweigger's Journal*, 1830, cahier 9, p. 36 à 50.

bouillie. Dans ces deux tubes, et à travers le fond fermé à la lampe, pénétraient deux fils de fer, dont l'un appartenant au tube x ne descendait que jusqu'en a, tandis que l'autre, appartenant au tube y, descendait jusqu'en b, au fond du grand verre A. Le fil de x a été mis en relation avec le pôle positif, celui de y avec le pôle négatif d'une pile de dix éléments, formés de plaques de zinc et de cuivre de 1 $^1/_2$ pouce de diamètre. Voici les phénomènes qui ont été observés avec cet appareil.

« Peu après la clôture du circuit, le fil de y a dégagé du gaz, qui a été reconnu pour de l'hydrogène; mais le fil de x n'a point donné de gaz, ni présenté la moindre trace d'oxidation; au bout de peu de minutes cependant, on a aperçu dans le tube x, mais seulement en z, sur le fond du verre A, une masse d'un blanc verdâtre, qui, à l'analyse, s'est comportée comme de l'oxidule de fer hydraté. Cette masse s'est étendue à partir non de l'extrémité du fil de x, mais du point z, en s'avançant de plus en plus vers b; entre l'extrémité du fil de x et le bout de ce tube x, en z, on n'a point pu apercevoir d'oxidule de fer hydraté durant une heure entière.

« Ce sous-oxide hydraté commence à devenir jaunâtre (oxide hydraté) depuis b en allant vers z; et ce n'est qu'au bout de deux heures après la jonction du circuit, que le fil de x présente de l'oxidule de fer hydraté. Cet oxidule, formé sur le fil positif, s'avance vers le fil négatif, en formant les plus beaux filets de couleur blanche; il enveloppe complétement le fil de y, mais à l'état d'oxide hydraté, qui s'y attache fortement, et seulement au bout extrême de ce fil qui, plus haut, conserve tout son éclat métallique. L'oxidule hydraté, qui enveloppe le fil positif, passe plus tard à l'état d'oxide hydraté, et bientôt après ce fil dégage de l'oxigène, tandis que le fil négatif transforme en oxidule hydraté l'oxide hydraté qui y adhère.

« Il résulte de ces faits, que le fer mis dans le circuit dégage de l'oxigène, dès qu'il a atteint le degré d'oxidation convena-

ble. Tant que le fil positif est entouré d'une masse d'oxidule ou d'oxide, on n'aperçoit point encore d'oxigène; ce gaz ne se montre que longtemps après qu'on a aperçu une couche d'oxide. Il n'est même pas invraisemblable qu'il commence à se former de l'acide ferrique sur le fil même; si on ne peut l'apercevoir, cela tient uniquement à ce que le contact avec l'eau le décompose aussitôt en oxigène et en oxide de fer. Le dégagement d'oxigène sur le fil de fer qui joue le rôle de pôle positif peut donc être produit d'abord par l'action de l'eau sur l'acide ferrique; et en effet l'on observe, vers le pôle positif, en premier lieu une production d'oxidule hydraté, puis il se forme de l'oxidule d'oxide hydraté, plus tard de l'oxide hydraté, et enfin, longtemps après que ce dernier a commencé à se former, on voit paraître des bulles d'oxigène. Dans un liquide qui exercerait une action décomposante moins active sur l'acide ferrique, on pourrait sans doute observer pendant quelque temps la formation de ce corps. L'expérience suivante, que j'ai faite dans ce but, a confirmé pleinement l'effet que je viens d'indiquer.

« J'ai placé un petit morceau d'hydrate de potasse sur un morceau de fer ayant l'éclat métallique; le premier a absorbé promptement de l'humidité, et a fourni ainsi pendant longtemps une solution concentrée. Le pôle positif de la pile a été mis en relation avec le morceau de fer, le pôle négatif avec la partie supérieure du morceau de potasse. Dans l'espace de peu de minutes, le fer s'est recouvert, dans la partie qui était en contact avec la potasse, d'une couleur pourpre foncé, due à du ferrate de potasse; ce sel, qui se dissolvait dans l'eau, en donnant une couleur rouge exactement semblable à celle qu'on obtient dans les actions sur l'acide nitreux et autres acides au moyen d'une solution de sulfate de fer dans de l'acide sulfurique concentré, ce sel, dis-je, s'est cependant transformé bientôt en oxide de fer, et d'autant plus rapidement que le ferrate de potasse était plus étendu d'eau. C'est simplement de cette manière que l'on réussit aussi à former du cuivrate de potasse;

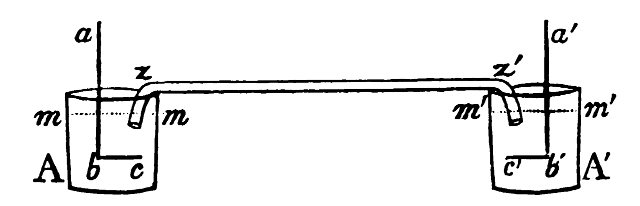
il n'est besoin, pour cela, que de changer le morceau de fer contre un morceau de cuivre. Le cuivrate de potasse obtenu par ce moyen a une très-belle couleur bleu clair, mais il est encore moins fixe que le ferrate.

« On peut aussi observer sans peine la formation du ferrate de potasse dans une solution de potasse passablement concentrée; cependant l'acide ne se montre avec la couleur rouge de pourpre qu'autour du fil, d'où il retombe en ondoyant.

4.— *Sur les changements que la chaleur produit dans la conductibilité des liquides aqueux.*

Un passage que j'ai lu dans un des mémoires les plus récents de Mr. Poggendorff, m'engage à faire connaître une expérience que j'ai faite dans l'intention de m'assurer si la conductibilité des liquides aqueux éprouve réellement un accroissement, sous l'influence de la chaleur et indépendamment d'une perturbation dans la polarisation.

Figure 2.



Dans deux verres *A*, *A'* (fig. 2), remplis jusqu'en *mm* et *m'm'* d'une solution de chlorure de sodium, plongeaient les deux extrémités légèrement recourbées d'un tube *zz'*, rempli de la même solution, ayant un peu plus d'un pied de longueur et 2 $^1/_2$ lignes de diamètre intérieur. Dans le liquide de l'un des verres plongeait, en outre, une lame de cuivre *abc*, courbée à angle droit, et dont la partie verticale était recouverte de gomme laque à partir de *b* jusqu'un peu au-dessus de la ligne *mm*; dans le liquide de l'autre verre descendait une lame pa-

reille de zinc $a'b'c'$, en sorte que ces lames ne communiquaient immédiatement avec le liquide des deux verres que par leurs parties horizontales, bc et $b'c'$. Les extrémités a et a' des lames ont été mises en relation avec celles du galvanomètre que j'ai décrit plus haut, après quoi on a chauffé le liquide du tube avec une lampe à alcool qu'on a promenée uniformément au-dessous de celui-ci dans tout l'espace compris entre les deux verres, jusqu'à ce qu'on ait vu se manifester dans le liquide une tendance à l'ébullition. Pendant cette opération, l'aiguille du galvanomètre a indiqué un accroissement constant dans la force du courant galvanique, et une diminution graduelle de ce même courant quand on a laissé refroidir le liquide. L'aiguille a marché d'abord de 50° jusqu'à 60°, plus tard de 47° à 57°, de 43° à 49°, de 40° à 47°, et enfin de 36° $^1/_2$ à 44°. Ces résultats révèlent ainsi de très-grandes variations dans la conductibilité ; celles que d'autres liquides, tels en particulier que l'acide nitrique étendu, ont montrées dans les mêmes circonstances, ont surpassé de beaucoup celles là. L'étendue de ces variations, jointe à la circonstance qu'elles diminuaient vers la fin de l'expérience, c'est-à-dire lorsque la polarisation était plus avancée, effet qu'on ne pouvait attribuer à un refroidissement imparfait, m'a fait craindre que le liquide qui sortait du tube pendant l'échauffement n'ait pu faire élever le niveau contre les lames ; j'ai donc répété la même expérience sous la forme suivante.

Aucun changement n'a été fait à l'appareil ; seulement, avant de remplir le tube avec la solution de chlorure de sodium, on a attaché solidement une peau de vessie à une de ses extrémités; puis, quand le tube a été rempli, on a plongé cette extrémité dans le verre où se trouvait la lame de cuivre. De cette manière, le liquide qui entourait la lame en question, n'a pu éprouver la moindre agitation fâcheuse pendant l'échauffement du tube. Malgré cela, l'aiguille a marché pendant cette opération, d'abord de 55° à 65°, puis de 43° à 48°, et enfin de

35° à 41°. J'ai dû reconnaître alors que l'accroissement de l'effet était dû simplement à l'élévation de température produite dans le liquide, et qu'il était complétement indépendant de la polarisation développée dans ce même liquide. Cependant la diminution subséquente qu'on observe dans la variation de conductibilité, paraît se rapporter à quelque autre circonstance particulière.

EXPÉRIENCES SUR LA FORCE ÉLECTROMOTRICE DE DIVERSES SUBSTANCES, par Michel CITO, prince DELLA ROCCA. (Lu dans la Section de Physique du septième Congrès des savants de l'Italie, le 27 septembre 1845.)

Lorsqu'il fut démontré que le liquide employé pour la construction de la pile ne conduit pas l'électricité qui se développe par la force électromotrice des métaux, selon l'ancienne opinion du célèbre Volta, mais qu'il la développe au contraire par son action chimique, les physiciens cherchèrent à évaluer l'intensité des courants qui sont produits par les différents corps.

Diverses expériences furent faites à cet effet par Mr. Berzélius, et par notre honorable collègue, l'illustre Mr. le chevalier Matteucci.

Cependant il me semble qu'on a omis jusqu'à présent de faire un examen complet et comparatif de la puissance électromotrice qui peut être développée par les divers liquides et les différents corps qui y sont dissous. Dans la pensée que cet examen serait très-intéressant pour les progrès de la science, et par les conséquences utiles que les savants pourraient en tirer, je me suis occupé de ce travail.

Afin d'obtenir ces premiers résultats, je me suis servi d'un galvanomètre de quantité, de plaques de zinc et de cuivre bien polies, et de la même dimension, et j'ai tâché d'éloigner

tout ce qui pouvait altérer le cours des expériences et l'exactitude des résultats.

Je me suis d'abord appliqué à explorer la puissance électromotrice de divers liquides dans leur état de pureté, tels que l'eau, l'alcool, l'éther sulfurique, le vin, les huiles fixes, etc., et heureusement je suis parvenu à connaître un fait qui confirme encore davantage la théorie électro-chimique des piles. En effet, tandis que l'eau, ayant une action chimique très-légère sur les métaux, développe un très-faible courant, l'alcool et les huiles fixes au contraire, n'ayant aucune action chimique sur les métaux, ne produisent aucun courant. On ne peut pas en dire de même du vin, dont on a eu des effets positifs, et ce qui est surprenant, c'est que l'éther sulfurique, loin d'agir comme l'alcool, a fait dévier, quoique de peu de degrés, l'aiguille du galvanomètre.

J'ai dissous dans l'eau la potasse caustique et de l'iode, et j'ai essayé l'ammoniaque liquide et la teinture d'iode. Toutes ces substances ont produit des courants plus ou moins forts, selon l'ordre suivant :

	Déviation de l'aiguille.
Potasse caustique . . .	80
Iode.	35
Ammoniaque liquide . .	35
Vin	20
Teinture-d'iode	5
Ether sulfurique. . . .	2
Eau pure	1/2
Alcool	0
Huile d'olives	0
Id. d'amandes . . .	0
Id. de noisettes . . .	0

J'ai activé la petite pile avec les acides dissous dans l'eau pure, et j'en ai obtenu des effets différents, conformément au tableau suivant :

	Déviation de l'aiguille.
Acide sulfurique	90
Id. nitrique.	80

	Déviation de l'aiguille.
Acide chlorhydrique	60
Id. sulfurique et alcool. . . .	40
Id. acétique impur	40
Id. oxalique	30
Id. citrique.	30
Id. phosphorique.	25
Id. gallique	20
Id. benzoïque	12
Id. tartrique	10
Id. acétique	10
Id. succinique.	10
Id. borique.	5
Id. benzoïque et alcool. . . .	0

On ne doit pas être étonné si l'on voit l'acide sulfurique préféré au nitrique contre l'opinion générale, car j'ai voulu seulement exposer les faits qui se sont présentés à moi, et qui probablement pourront être corrigés par d'autres recherches. En traitant les substances acides j'ai fait agir l'acide sulfurique dissous dans l'eau non-seulement, mais aussi dans l'alcool, et j'ai observé que quoique dans ce dernier cas le courant se produise, néanmoins il est beaucoup moins énergique. Outre l'acide acétique pur, j'ai voulu essayer l'impur (vinaigre commun), dont les effets semblent devoir attirer l'attention de ceux qui font des expériences, et pourront leur servir avec avantage, indépendamment aussi du chlorure de sodium recommandé par l'honorable Mr. Berzélius. Il faudrait aussi observer que quoique l'acide benzoïque soit plus soluble dans l'alcool que dans l'eau, sa solution dans ce dernier liquide a produit un effet notable, au lieu que, dissous dans l'alcool, il n'a développé aucun courant.

Enfin j'ai exploré la force électromotrice de différents sels, toujours dissous dans la même proportion, et les résultats en sont marqués dans le tableau suivant :

	Déviation de l'aiguille.
Sulfate de cuivre.	180
Nitrate de plomb.	100
Muriate de cobalt	100
Nitrate d'argent	100
Bi-tartrate de potasse	90

	Déviation de l'aiguille.
Chlorure de sodium	80
Oxalate d'ammoniaque	80
Sulfate de fer	70
Id. d'alumine	70
Nitrate d'ammoniaque	60
Chloro-idrate d'ammoniaque	60
Carbonate d'ammoniaque	60
Sulfate de zinc	50
Nitrate de potasse	50
Acétate de potasse	50
Chlorate de potasse	50
Cyanure de zinc	50
Id. de potasse	45
Sulfate de potasse	40
Hydriodate de potasse ioduré	40
Muriate de barite	40
Nitrate de strontiane	40
Sulfate de soude	35
Id. de magnésie	30
Id. de quinine avec de l'alcool et de l'eau.	25
Bi-carbonate de potasse	25
Carbonate de potasse	20
Tartrate de potasse	20
Nitrate de barite	12
Phosphate de quinine avec de l'alcool et de l'eau	10
Bi-carbonate de soude	10
Iodure de potasse	10
Acétate de plomb	10
Sulfate de quinine	5
Phosphate de quinine	2

J'ai eu lieu encore d'observer ici, que ce n'est pas le chloronitrate d'ammoniaque qui produit les plus grands effets, mais qu'il y a d'autres sels plus capables d'exciter le courant électrique.

J'aurais voulu étendre mes recherches sur un plus grand nombre de substances, mais, attendu la brièveté du temps, il m'a été impossible d'en faire d'autres.

Cependant je me propose d'exposer bientôt les résultats de mes essais, constatés aussi par le voltamètre de Faraday, dans un second travail qui, j'espère, sera plus complet que celui-ci, et plus digne de l'indulgence des savants.

NOTE SUR LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE, par Ch. MATTEUCCI. (*Il Cimento,* cahier de mai et juin 1845.)

M'étant précédemment occupé du sujet difficile et obscur de la conductibilité électrique d'un certain nombre de corps susceptibles d'être amenés à l'état de fusion, ainsi que du rapport qui existe entre cette propriété et la composition chimique de ces corps, je me décide à publier quelques faits sur ce sujet ; ils seront en petit nombre et peu variés ; néanmoins je les publie tels qu'ils sont, ne pouvant pour le moment continuer ce genre de recherches.

Le mode d'expérience que j'ai adopté est extrêmement simple : — Un courant produit par 6 piles de Faraday passe par un voltamètre, et de là se divise entre un voltamètre semblable et le corps dont on veut étudier la conductibilité. Le point de comparaison est de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique de la densité de 1,232. Les extrémités ou électrodes des deux voltamètres, aussi bien que ceux qui traversent le corps mis en expérience, sont des fils de platine parfaitement semblables, tenus à égale distance et immergés de la même quantité. J'appellerai à l'avenir voltamètre principal *A* celui dans lequel le courant passe en entier, et voltamètre secondaire *a* celui dans lequel passe la portion du courant qui n'est pas transmise par le corps soumis à l'expérience. Le courant employé dans ces expériences produisait dans l'espace de 10 à 15 minutes, 55 c.c. de mélange gazeux dans le voltamètre *A*.

Voici d'abord un tableau dans lequel sont réunis les résultats que j'ai obtenus en soumettant à l'expérience le nombre le plus considérable de combinaisons que j'ai pu me procurer à l'état pur, et qui satisfont à la double condition d'être anhydres et fusibles.

Le voltamètre *A* donne dans chaque cas toujours 15 c.c.

Vol. du mélange gazeux dans le voltam. *a*.	Nom du composé mis dans le circuit parallèlement avec le voltam. *a*.
0	Protoxide de plomb.
0	Iodure de plomb.
0	Chlorure d'argent.
0	Protochlorure de cuivre.
0	Sulfure d'antimoine.
0	Sulfure de potassium.
0	Persulfure de potassium.
0	Nitrate de potasse.
0	Nitrate d'argent.
1cc,5	Chlorure de plomb.
3	Iodure de potassium.
3,9	Chlorure de sodium.
4,2	Chlorure de calcium.
7,75	Chlorure de zinc.
12,75	Deutoiodure de mercure.
12,60	Protochlorure de mercure.
12,75	Chlorure d'antimoine.
15	Deutochlorure d'étain.
id.	Acide chlorochromique.
id.	Perchlorure d'antimoine.

En jetant les yeux sur ce tableau, on ne trouve aucun rapport entre la conductibilité et la composition chimique du composé conducteur. Ainsi l'on trouve parmi les bons conducteurs des composés dans lesquels l'élément électro-négatif entre avec 3 à 5 équivalents, tandis que dans les corps mauvais conducteurs il y en a qui sont formés, comme les meilleurs, d'un équivalent combiné avec un équivalent. On ne peut pas dire, comme je l'avais d'abord cru, lorsque je ne me basais encore que sur un petit nombre de faits, que les corps meilleurs conducteurs sont ceux dans la composition desquels entrent les métaux des dernières classes, car on voit le protochlorure d'étain et le zinc être moins bons conducteurs que le chlorure de calcium et celui de sodium. Il resterait à voir quelle influence peut avoir la température sur le degré de conductibilité d'un corps.

2° J'ai comparé, dans une autre série de recherches, la conductibilité des solutions aqueuses de nitrate de potasse, de nitrate d'argent, d'iodure de potassium, de chlorure de sodium,

de chlorure de calcium, d'acétate de plomb, toutes au plus haut degré de concentration possible avec ces mêmes corps à l'état de fusion ignée ; la méthode employée était extrêmement simple, et consistait à mettre dans le circuit la solution aqueuse au lieu du voltamètre secondaire. J'ai essayé aussi de laisser le voltamètre secondaire, et de placer à côté de lui la solution aqueuse plus ou moins concentrée. En comparant le composé à l'état de fusion avec ce même composé dissous dans l'eau au plus haut degré de concentration et réchauffé, j'ai trouvé que *le courant passe entièrement à travers le composé à l'état de fusion*. En comparant la conductibilité des composés mentionnés ci-dessus, dissous dans l'eau en quantité diverse, on trouve que la conductibilité de la solution est proportionnelle au degré de conductibilité que possède le composé à l'état de fusion. En d'autres termes, pour que deux solutions aqueuses de deux sels différents aient la même conductibilité, il faut que la solution dont le sel est le moins conducteur à l'état de fusion, soit la plus concentrée. Cette circonstance prouve toutefois que dans les solutions aqueuses de corps composés, dont la conductibilité à l'état de fusion est grande, le courant est conduit par le corps dissous, et que l'eau n'a d'autre fonction que celle de lui donner l'état liquide nécessaire à l'électrolysation.

Cette même proposition a été démontrée dans une autre expérience que j'ai publiée dans un de mes mémoires d'électrochimie, et que j'ai vérifiée de nouveau. Deux solutions de nitrate d'argent, l'une dans l'alcool, l'autre dans l'eau, ont à peu près le même degré de conductibilité lorsqu'elles ont environ la même densité. La solution alcoolique contient alors 3gr,390 de nitrate d'argent, et la solution aqueuse en contient 0gr,335. Si on admet que dans les deux solutions le nitrate d'argent soit le corps conducteur, et qu'il soit par conséquent décomposé directement, il faut en conclure que la conductibilité est la même lorsque dans les deux cas la distance entre les particules du nitrate est la même.

3° J'ai comparé par la méthode ordinaire la conductibilité

des solutions aqueuses le plus concentrées possible de chlorure d'antimoine et de protochlorure d'étain, avec la conductibilité de ces mêmes corps anhydres et fondus. Afin de maintenir le chlorure d'antimoine à l'état de dissolution, j'ai ajouté la moindre quantité possible d'acide hydrochlorique; l'eau acidulée était, comme de coutume, dans les voltamètres *A* et *a*. Dans une première expérience, c'était le corps fondu que je comparais au voltamètre; dans une seconde expérience, c'était la solution aqueuse de ce corps. Voici les nombres que fournissent les expériences :

Le voltamètre principal *A* donne toujours dans chaque cas un volume de 15 c.c. du mélange gazeux.

Vol. du mélange gazeux du voltam. secondaire *a*.	Nom du corps soumis à l'expérience.
12,75^{cc}	Chlorure d'antimoine fondu.
4,5	Chlorure d'antimoine dissous dans l'acide hydrochlorique étendu.
12,75	Protochlorure d'étain.
6,0	Le même dissous dans l'eau.

Évidemment, dans ces deux cas, la conductibilité est plus grande pour la solution aqueuse d'un certain composé que pour ce même corps à l'état de fusion. Ce fait est analogue à celui que présentent les solutions de perchlorure d'étain et de perchlorure d'antimoine. Les corps qui à l'état de fusion ne sont pas conducteurs, acquièrent la propriété conductrice dans l'eau ou dans les acides.

4° J'ai voulu enfin étudier la conductibilité de quelques corps qui ne conduisent pas à l'état de fusion, en en faisant des solutions aqueuses. Les corps que j'ai choisis pour faire ces recherches sont de nature à ne pouvoir donner lieu à des produits secondaires. Le sucre et la salicine à l'état de fusion ne conduisent pas le courant. J'ai trouvé que les solutions de ces corps le plus concentrées possible dans l'eau pure ou dans l'eau acidulée avec l'acide sulfurique ont sensiblement la même conductibilité que l'eau pure ou acidulée.

Je résumerai en peu de mots les conséquences de ces faits

qui me paraissent prouver d'une manière positive que les corps qui à l'état de fusion ne sont pas conducteurs, n'acquièrent pas la propriété conductrice quand ils sont dissous simplement dans l'eau, abstraction faite de l'action chimique que peuvent exercer les éléments d'un corps dissous sur les éléments du corps dissolvant : 1° Tous les composés qui, fondus et anhydres, conduisent le courant mieux que l'eau, sont toujours plus conducteurs que leurs solutions aqueuses, même les plus concentrées. 2° Les corps qui à l'état de fusion ne conduisent pas, ou qui sont de nature à ne pas agir par l'affinité de leurs éléments sur les éléments dissolvants, ne déterminent aucune augmentation de conductibilité chez le corps dans lequel ils sont dissous.

Il ne s'ensuit pas que, s'il y a des composés qui fondus et anhydres ne conduisent pas ou bien ont une conductibilité moindre que celle de l'eau, on ne puisse admettre qu'ils acquièrent la faculté conductrice par la seule liquéfaction qu'ils subissent lorsqu'on les dissout dans l'eau ; lors donc qu'on voit une augmentation de conductibilité avoir lieu dans ces cas, on doit l'interpréter comme une conséquence d'actions secondaires.

Telles sont les considérations qui m'ont fait dire non *a priori* mais *a posteriori*, que les composés de perchlorure de fer, de bichlorure d'étain, de bichlorure d'antimoine, sur lesquels Mr. Edmond Becquerel a opéré, devaient être considérés, dans l'étude de l'électro-chimie, comme des corps qui étaient décomposés par voie secondaire, et que la loi qui en était le résultat ne pouvait pas différer de celle qu'il a trouvée, c'est-à-dire de la loi de Faraday sur la décomposition de l'eau et de l'acide hydrochlorique.

Le protochlorure d'antimoine, le seul qui puisse se décomposer à l'état de fusion, nous fournit un exemple qui sert à découvrir la loi de la décomposition électro-chimique, dans le cas des combinaisons non formées par deux équivalents.

Il suffit d'avoir tenté une fois la décomposition du protochlorure d'antimoine en vue d'en déterminer les produits, et d'avoir demandé à un chimiste jusqu'à quel point on peut se

garantir d'erreur dans les appréciations, pour comprendre combien mon travail et celui de Mr. Edmond Becquerel ont été insuffisants. J'ai demandé au professeur Piria de répéter avec moi l'expérience de la décomposition électro-chimique du protochlorure d'antimoine ; je désirais m'appuyer de son autorité, ainsi que de l'habileté et de l'exactitude qu'il a mises dans tous ses travaux. Le pôle négatif était un fil de platine replié plusieurs fois sur lui-même, plongé dans une petite capsule de porcelaine, qui trempait dans le protochlorure d'antimoine fondu. Le pôle positif était une tige d'antimoine à laquelle était soudé un fil de cuivre ; les deux électrodes avaient été pesés avant de commencer l'expérience ; la pile employée consistait en neuf piles de Faraday. Voici les chiffres que j'ai obtenus :

Voltamètre : mélange gazeux 45 c.c. à $+12^{o},56$ et à $0^{m},7648$ de pression ; ce qui équivaut à 42,6 c.c., à 0° et $0^{m},760$. Le poids de l'hydrogène obtenu fut $0^{gr},0025$; le poids de l'antimoine dissous au pôle positif était $0^{gr},1025$; celui de l'antimoine recueilli au pôle négatif était $0^{gr},090$.

Si on s'en rapporte à ces chiffres, la quantité d'antimoine dissoute par le chlore au pôle positif, est sensiblement celle qu'on aurait si l'hydrogène de l'eau décomposée dans le voltamètre était employé à réduire le chlorure d'antimoine à l'état métallique, c'est-à-dire celle qui résulte de la loi de Mr. E. Becquerel. Le poids de l'antimoine obtenu au pôle négatif est même plus éloigné du chiffre qu'il devrait atteindre dans cette hypothèse, fait qui ne doit pas surprendre si l'on réfléchit aux causes d'erreur que l'on rencontre dans la détermination de l'antimoine qui se précipite au pôle négatif au milieu du chlorure, et duquel on ne peut se débarrasser que par des lavages réitérés avec de l'acide hydrochlorique étendu.

Ce n'est donc qu'en répétant ces expériences sur une échelle plus étendue, qu'on pourra réduire ces causes d'erreur à des proportions moindres ; je l'aurais fait si je n'avais pas éprouvé très-promptement les effets délétères de la vapeur du chlorure d'antimoine.

Ce ne sera qu'en donnant suite à ces recherches que l'on arrivera à pouvoir établir une loi de la décomposition électro-chimique, plus générale que celle qu'ont établie les remarquables travaux de Faraday, et plus tard les travaux de Daniell et les miens.

En terminant j'ajouterai quelques mots, qui seront les derniers, en réponse à quelques observations que m'a adressées Mr. E. Becquerel dans sa lettre insérée dans les *Annales de Physique et de Chimie*, février 1845.

La loi de la décomposition électro-chimique d'un sel formé par un équivalent d'acide et un équivalent de base a été établie par les expériences de Daniell et par les miennes.

Dans un mémoire inséré dans les *Annales de Physique et de Chimie*, au mois de janvier 1835, simultanément avec la publication des premiers travaux de Faraday, j'avais trouvé que les quantités des divers métaux obtenus en décomposant par le courant diverses solutions salines de ces métaux étaient proportionnelles à leurs équivalents. Dans une série de mémoires sur l'électro-chimie, publiés dans la *Bibliothèque Universelle* et dans les *Annales*, j'ai démontré l'exactitude de cette loi sur différents sels fondus, l'acétate de plomb, le borate de plomb, le nitrate d'argent, et sur la solution aqueuse du benzoate de zinc. Daniell était arrivé de son côté à la même loi, par une série de recherches conduites différemment.

Dans ces mêmes mémoires j'ai longuement insisté sur le moyen d'étendre la loi de l'action chimique définie du courant électrique au cas de la décomposition simultanée des corps mélangés. C'est par suite de ces études, que j'ai trouvé la loi de la décomposition du protochlorure et du deutochlorure de cuivre, que Mr. Edmond Becquerel a ensuite vérifiée. J'ai cru, et je crois encore, qu'il est plus avantageux pour la science que cette extension à la loi de Faraday ait été basée sur l'expérience, que si elle n'était appuyée que sur le raisonnement.

Pise, 9 *mai* 1845.



DEUXIÈME MÉMOIRE SUR L'INDUCTION, par Mr. le professeur Elie WARTMANN [1].

§ VII. *Sur la non-interférence des courants électriques.*

58. Parmi les théories partielles de l'électricité, celles de l'induction soit statique, soit dynamique, paraissent avoir une importance majeure. On peut même dire que l'explication des phénomènes de l'induction servirait à établir la véritable théorie de l'électricité. Réciproquement, quelques données expérimentales sur les propriétés par lesquelles ce fluide se rapproche ou se distingue de la lumière et du calorique, seraient fort utiles pour bien comprendre cette action d'influence qui paraît lui appartenir en propre. Je me propose, dans ce nouveau mémoire, d'examiner si l'électricité dynamique peut donner naissance à des interférences analogues à celles que présentent les deux autres agents impondérables.

59. Deux courants électriques provenant de sources semblables ou de la même source, et primitivement égaux, sont-ils capables de se neutraliser en tout ou en partie, lorsque l'un d'eux conservant une intensité constante, celle de l'autre varie jusqu'à ce qu'il devienne comme nul comparé au premier? Tel est le problème que j'ai cherché à résoudre par trois méthodes indépendantes, celle des courants induits, celle des courants

[1] Ce mémoire a été communiqué le 19 mars 1845 à la Société vaudoise des Sciences naturelles, et le 17 avril à celle de Physique et d'Histoire naturelle de Genève; le *Compte rendu* de la séance du 23 juin de l'Académie des Sciences de Paris, en a reproduit les conclusions. — Il fait suite aux recherches déjà publiées dans les *Bulletins* de l'Académie de Bruxelles, t. X, puis d'une manière plus correcte dans les *Archives de l'Electricité*, t. IV, p. 31, et dans le *Philosophical Magazine*, tome XXV, page 226.

directs et continus, et celle des dérivations. La nécessité de mesurer avec une grande précision les conducteurs que traversent les courants et l'ignorance absolue dans laquelle nous sommes sur les longueurs des ondulations électriques (si l'électricité est bien un phénomène dans lequel les mouvements de l'éther jouent un rôle), rendent les expériences que je vais rapporter très-délicates et très-longues. Elles ont toutes été répétées un grand nombre de fois: les principales ont été reproduites devant la Société des Sciences de Lausanne.

A. Méthode des courants induits.

60. Dans mon *premier mémoire*, j'ai montré (22) qu'en faisant passer par deux fils inducteurs des courants directs de même sens, on induit un courant égal à la somme de leurs effets élémentaires, tandis que (23, 24), si les deux courants inducteurs sont parfaitement égaux et de sens contraires, les deux courants induits se neutralisent, ou, pour mieux dire, n'existent pas sensiblement. Mais en allongeant l'un des fils inducteurs et en laissant l'autre invariable, on fait cesser l'égalité de leur conductibilité et de leur faculté inductrice ; alors l'aiguille du rhéomètre qui est dans le circuit du fil induit indique un courant instantané égal à la différence que cet allongement a produite.

61. Deux cas pouvaient se présenter entre les limites d'induction qui correspondent à une longueur nulle et à une longueur infinie du fil additionnel, si on appelle infinie celle qui oblige le courant à se décharger en entier par le fil invariable. Pour des allongements toujours croissants, on pouvait observer des valeurs du courant induit *toujours croissantes ;* ou bien des valeurs *intermittentes*, tantôt plus grandes, tantôt moindres, et alors seulement il y aurait eu interférence dans le circuit induit. Or des expériences multipliées, faites avec les appareils et les fils précédemment décrits au § I, et dans lesquelles l'allongement du fil inducteur s'opérait par degrés infiniment rapprochés, ont

montré que les angles de déviation augmentent sans aucune alternative, et ont conduit aux lois logarithmiques formulées dans le § III. Il n'y a donc pas d'interférence dans les circonstances où j'ai cherché à en produire.

62. Ce résultat fut obtenu en novembre 1841, et communiqué aux élèves de mon cours de physique, au commencement de l'année suivante. On pouvait peut-être lui opposer que si l'induction, dont le caractère est d'être instantanée, est produite par une onde unique, il n'est pas certain que les phénomènes d'interférence se manifestent dans son développement. Cette objection serait analogue à celle qu'on a élevée contre l'explication, par des ondulations électriques, de la remarquable intermittence découverte par Mr. le professeur de la Rive [1], dans la conductibilité de certaines longueurs d'un même fil métallique pour des courants magnéto-électriques soumis à des changements de direction alternatifs et rapides [2]. C'est pour lever tout doute à cet égard, que j'ai cherché à faire interférer deux courants *continus*, lancés simultanément dans le même fil, soit en sens contraire, soit dans le même sens [3].

B. Méthode des courants directs et continus.

63. Les fils dont j'ai fait usage sont inscrits dans le tableau suivant. Ils ont été choisis bien cylindriques et recuits avec soin. Leurs longueurs ne pouvant être appréciées directement avec une exactitude suffisante, parce qu'ils n'étaient pas géométriquement rectilignes, ont été calculées par la formule

$$L = 318,47 \frac{P}{\Delta R^2},$$

[1] *Mémoires de la Société de Physique et d'Histoire naturelle de Genève*, t. IX. — Voyez la suite de ces recherches dans les *Archives de l'Electricité*, t. I, p. 75, où se trouve l'explication de cette apparente interférence.

[2] Lamé, *Cours de Physique de l'Ecole Polytechnique*, § 860.

[3] Mr. Peltier a appliqué le même moyen, sans l'employer au même but que moi, pour graduer les rhéomètres thermo-électriques par sa *méthode de la somme des courants réunis*, § XXII de son mémoire dans *Ann. Ch. et Phys.*, t. LXXI, p. 225.

dans laquelle

L est la longueur cherchée en millimètres,

P le poids du fil en grammes,

Δ sa densité,

R son rayon.

Les pesées ont été faites par la méthode de Borda, et avec une excellente balance de Fortin. Les rayons s'estimaient par la méthode d'enroulement. Les densités sont empruntées aux meilleures tables connues.

NOMS DES FILS.	DENSITÉS	DIAMÈTRES.	POIDS.	LONGUEURS.
		mètres.	grammes	mètres.
Fil de platine n° 2.	22,0	0,00200	59,700	0,864111
Fil de platine n° 3.	22,0	0,00140	31,404	0,927720
Fil de cuivre n° 2.	8,9	0,00300	66,892	1,067160
Fil de cuivre n° 3.	8,9	0,00300	65,705	1,046243
Fil de cuivre n° 4.	8,9	0,00300	200,255	3,184726
Fil de cuivre n° 5.	8,9	0,00300	52,050	0,828810
Fil de laiton n° 3.	8,4	0,00050	21,593	11,576000
Fil de laiton n° 4.	8,4	0,00100	28,116	4,216216
Fil d'acier . . n° 1.	7,8	0,00025	3,599	9,405405

64. J'ai construit un rhéomètre avec le fil cuivre n° 5. Ce fil ne fait que quatre révolutions, et n'est pas recouvert de soie. Les deux aiguilles (choisies entre plus de cinquante) sont très-légères, aimantées à saturation, et font une oscillation entière en 10″,4. La pointe de l'aiguille supérieure porte une petite languette de papier noirci, qui permet de lire les déviations sur un cadran de $0^m,9$ de diamètre.

65. Afin d'avoir des sources d'électricité toujours comparables et d'une constance parfaite, j'ai employé deux couples thermo-électriques formés de métaux qui ne subissent aucune altération dans les conditions où ils devaient être placés. Ces métaux sont le platine et le cuivre purs et parfaitements recuits. J'ai évité tout métal étranger en rejetant les soudures. Les fils de platine n° 2 et de cuivre n° 3, ceux de platine n° 3 et de cuivre n° 2 ont été tordus dans un étau sur une longueur de

$0^m,010$; puis, après avoir lié avec du fil de cuivre plus fin et bien recuit ces surfaces de contact, on les a plongées dans des quantités égales de mercure pur, destiné à égaliser promptement la température dans toute leur étendue. Ce mercure est renfermé dans deux éprouvettes de verre d'Allemagne, de dimensions égales et prises au même tube ; des bouchons fixés de distance en distance séparent les deux fils de chaque couple. Les éprouvettes, réunies par une lame de plomb destinée à les maintenir verticales et parallèles, plongent dans un réservoir de cuivre étamé, à moitié plein d'une solution de chlorure de calcium dans l'eau. Enfin une lampe à double courant maintient ce bain à une température constante, indiquée par un excellent thermomètre étalon, gradué sur son propre tube.

66. Toutes les communications des extrémités des couples avec le rhéomètre s'effectuent par le moyen des pinces à vis de Mr. Poggendorff, qui ont l'avantage d'assurer un contact excellent, sans ressort ni mercure. Ce sont des parallélipipèdes massifs de cuivre pur, dans lesquels on a percé de part en part trois ouvertures cylindriques parallèles que des vis de pression parcourent perpendiculairement à leur axe.

67. Pour allonger le circuit du couple de longueur variable, j'emploie le rhéostat de Mr. Wheatstone. Celui qui m'a servi est formé de deux cylindres de $0^m,06$ de diamètre ; leur pas de vis reçoit le fil de laiton n° 3, qui fait 60 révolutions et dont la longueur utile est de $11^m,3$. Il faut que ce fil additionnel soit d'une texture homogène, parfaitement cylindrique, et de sa nature très-bon conducteur, sans quoi il occasionnerait dans les lectures des perturbations qui voileraient le résultat final.

68. La disposition adoptée pour l'expérience consiste à mettre le rhéostat dans le circuit de l'un des couples, et à obliger le courant de l'autre couple à parcourir le rhéomètre en sens inverse de celui du premier [1]. Chaque courant possède

[1] Voici un exemple numérique destiné à prouver la délicatesse de mes

alors deux voies de communication : ou bien par le fil gros, court et homogène du rhéomètre ; ou à travers le circuit hétérogène et comparativement plus long de l'autre couple. L'expérience et le calcul prouvent que la dérivation produite par cette seconde voie est si petite qu'on peut la négliger. Par exemple, le courant du second couple donnant 14° de déviation à +114° C., l'addition du circuit de l'autre couple non échauffé fit tomber l'aiguille à 13°,30′. Le premier couple ayant produit 26° à +114° C., la dérivatian causée par l'autre ramena l'index à 25°,40′, et ne l'affecta plus d'une manière sensible quand la déviation fut réduite à 4° ou 3° par l'interposition d'une longueur suffisante du fil du rhéostat. Comme l'échauffement diminue la conductibilité des métaux dont j'ai fait usage, on peut croire que le fil hétérogène de dérivation dont la soudure était portée de 110° à 140°, suivant les cas, ne livrait plus alors passage qu'à une imperceptible fraction du courant.

69. Laissant invariable le circuit d'un des couples, on a modifié par degrés insensibles (comme le rhéostat permet de le faire si commodément) celui de l'autre en en retranchant toute la longueur du fil additionnel de 11 mètres, ou en la lui ajoutant, ce qui annulait presque son courant propre. La marche de l'aiguille du rhéomètre n'a jamais indiqué qu'une augmentation ou une diminution *progressive* de déviation, et mis en évidence l'influence prépondérante d'un courant sur l'autre, ou leur neutralisation mutuelle à cause de leur égalité en des sens opposés.

70. L'expérience a été répétée en lançant les deux courants dans le même sens par le fil du rhéomètre. Elle a donné un résultat analogue, soit *l'absence la plus complète d'intermittence*

appareils de mesure. Le thermomètre marquant +143° ;

le premier couple faisait dévier l'aiguille de 0° à 39° est ;
le second . . . . 0 à 18 ouest ;
et l'opposition de leurs courants . . . . 0 à 29 est.

dans l'allure de l'aiguille, pour une addition ou une soustraction toujours croissante du fil additionnel.

71. J'ai fait encore d'autres épreuves avec des piles hydro-électriques (6), en employant le thermomètre de Bréguet (5, *c*) comme moyen de mesure. Deux couples de Daniell ont été mis en relation avec cet instrument à l'aide de deux conducteurs de laiton bien égaux nº 4. En établissant un second circuit avec deux autres fils pareils, tels que le courant, partant des mêmes pôles, traversât le thermomètre en sens inverse du premier, l'aiguille est revenue à son zéro de départ, et s'y est maintenue. Afin de m'assurer que cette neutralisation n'était pas seulement apparente et due à la circonstance que le double circuit suffisait à la décharge complète de la pile en dehors de la spirale, j'ai répété l'expérience avec quatre fils d'acier nº 1, formant un double circuit bien plus mauvais conducteur que celui des fils de laiton, et avec dix couples au lieu de deux. Le résultat est resté le même.

72. On pourrait peut-être élever contre la méthode des courants directs et continus les objections suivantes :

a) Il convient d'employer une source commune au lieu de deux sources électriques semblables. Dans les phénomènes d'interférence lumineuse ou calorifique, c'est à la même radiation que s'empruntent les faisceaux qui s'entre-détruisent.

b) Dans l'hypothèse ondulatoire de l'électricité, la circonstance que les vibrations doivent traverser une partie d'un circuit (le fil du rhéostat) dont le diamètre est diminué, pourrait s'opposer à la possibilité de leur interférence ultérieure avec un courant dont les vibrations n'ont pas subi une modification analogue.

c) Semblablement, les variations de longueur d'un des circuits agissent sur *l'intensité* du courant qui émane d'une source constante. Or il se peut que deux courants d'inégale intensité soient incapables d'interférer dans des conditions dans lesquelles ils se fussent entre-détruits si leurs intensités eussent été égales.

73. On doit remarquer que les deux premières objections ne s'appliquent pas à la méthode des courants induits. Mais afin de leur enlever toute valeur, j'ai imaginé une troisième méthode consistant à n'employer qu'un seul couple thermo-électrique, dont le courant passe à la fois en partie dans le fil du rhéomètre, et en partie dans un fil de dérivation. Ce fil était celui de cuivre n° 4, et le couple celui des fils de platine n° 2 et de cuivre n° 3.

C. Méthode des dérivations.

74. Lorsqu'on ferme avec le rhéomètre le circuit du couple, on peut opérer trois dérivations : du fil de platine à celui de cuivre, en obligeant ainsi une partie du courant à ne point traverser l'appareil mesureur ; — du fil de platine à lui-même, en établissant en des points quelconques sur sa longueur les jonctions avec les extrémités du fil de dérivation, et faisant varier soit la distance de ces points, soit la longueur de ce fil ; — enfin du fil de cuivre à lui-même, en procédant d'une manière analogue.

75. Le fil de dérivation avait $0^m,003$ de diamètre, et ne pouvait en conséquence être enroulé sur le rhéostat. Pour assurer un contact constant sur sa surface (condition extrêmement importante), et pour faire varier sa longueur aussi lentement que cela était nécessaire, j'ai employé un tube de cuivre pur, long de $0^m,05$, percé d'un canal de $0^m,0034$, et qui se visse dans l'un des trous d'une pince de Poggendorff ; ses deux extrémités sont fendues en porte-crayon, et les lèvres se rapprochent à volonté par des anneaux compresseurs.

76. *Aucune des trois dérivations n'a donné lieu à des phénomènes d'interférence.*

77. La seconde dérivation a mis en évidence l'influence remarquable de la conductibilité sur l'intensité du courant, car le fil de cuivre n° 4, étant beaucoup meilleur conducteur que le fil de platine du couple, a augmenté la déviation de l'aiguille

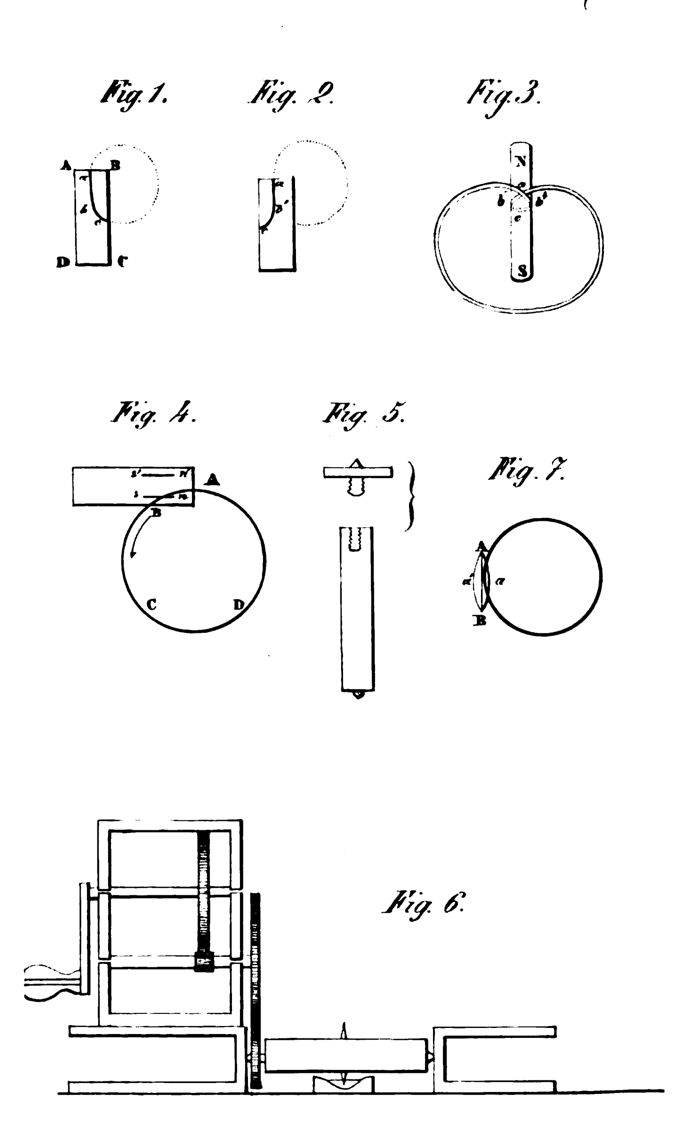
d'une manière sensible. Dans l'une des expériences, où l'on fit les jonctions d'une part sur le fil de platine immédiatement à sa sortie de l'éprouvette, de l'autre avec le rhéomètre, l'index fut poussé à 15° de sa première position. Cet accroissement dans la déviation s'affaiblissait, mais sans aucune intermittence, lorsqu'on rapprochait le premier point de contact du second.

78. La troisième dérivation n'a produit aucune action sensible sur l'aiguille, comme il était aisé de le prévoir, puisque le fil de dérivation et celui de cuivre du couple étaient de même diamètre, et que chacun pris à part avait une conductibilité propre, et des dimensions suffisantes pour transmettre tout le courant thermo-électrique.

79. La méthode des dérivations me paraît être à l'abri de la troisième objection (72,c), celle des intensités. En effet, la différence dans l'intensité des courants qui se réunissaient après être partis d'une même source et avoir suivi deux voies entièrement semblables, a pu être rendue aussi faible que possible sans qu'il en résultât d'interférences. Or, l'analogie étant ici notre seul guide, il est nécessaire de se rappeler que, dans des circonstances tout à fait pareilles, les vibrations de l'éther qui constituent la lumière et celles des fluides élastiques qui engendrent le son, ont présenté des phénomènes d'entre-destruction bien évidents [1].

[1] Dans l'expérience fondamentale de Fresnel, les faisceaux de lumière n'atteignent pas nécessairement les deux miroirs sous la même incidence, et n'ont pas la même intensité lorsqu'ils interfèrent après la réflexion. — Après que Mr. W. Weber eut montré que les surfaces suivant lesquelles le son disparaît autour d'un diapason vibrant sont courbées hyperboliquement, Mr. Kane est parvenu, en suivant une idée de sir J. Herschel, à construire des tuyaux réunis dont les longueurs sont dans le rapport de deux à trois, ou de six à sept, et qui détruisent par interférence un des sons, en nombre déterminé, qu'on fait passer par leur intérieur (*Phil. Mag.*, tome VII, p. 301; *Pogg. Ann.*, tome XXXVII, p. 435.)

Mémoire de Mr Weber sur l'Induction Unipolaire.



is aux Abonnés de la *Bibl. Univ.* pour 1845.

s pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me a nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à r. chacune, et les années 1841 à 1844 pour 32 fr. chacune, *non com- les frais de port.*

AVIS.

Les quatre premiers volumes des *Archives de l'Électricité* nées 1841 à 1844) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.

SUPPLÉMENT

A LA

BIBLIOTHÈQUE UNIVERSLLE

DE GENÈVE.

ARCHIVES

DE L'ÉLECTRICITÉ,

PAR

Mr A. de la Rive,

Professeur de Physique à l'Académie de Genève.

N° 20. (Tome V. — 1845.)

Publié le 28 janvier 1846.

Les personnes qui désirent renouveler leur abonnement à la *Bibliothèque Universelle* pour 1846, sont priées de s'adresser :

Chez ABR. CHERBULIEZ et Cie, libraires, à GENÈVE, rue de la Cité.

A PARIS, même maison, place de l'Oratoire, 6.

1845

Les **Archives de l'Électricité** (Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*) paraissent tous les deux mois; les six cahiers bimestriels forment au bout de l'an un volume in-8° de 650 pages environ, même format et caractère que la Bibliothèque Universelle.

Le prix de l'abonnement à ce recueil (pour l'année 1845) est, *franc de port :*

Pour Genève et le reste de la Suisse.	10 francs.
Pour tous les autres pays.	15 —

On s'abonne :

Pour Genève et la Suisse, au BUREAU DE LA BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE, chez B. GLASER, rue de la Pélisserie, n° 133, à Genève.
Pour Paris et la France, chez ANSELIN, successeur de MAGIMEL, rue Dauphine, n° 36, à Paris.
Pour Turin et le Piémont, chez BOCCA, libraire, à Turin.
Pour Milan et le R° Lombard-Vénitien, chez DUMOLARD, à Milan.
Pour Rome et les Ét. Rom., chez CAPOBIANCHI, employé des Postes, à Rome.
Pour le reste de l'Italie, chez PIATTI, libraire, à Florence.
Pour la Hollande, chez DELACHAUX, libraire, à Amsterdam.
Pour l'Allemagne et le Nord, chez MICHELSEN, libraire, à Leipsick.
Pour la Grande-Bretagne, chez BAILLIÈRE, à Londres.

INDUCTION UNIPOLAIRE, par Mr. Guillaume WEBER[1]. (*Poggend. Annal.* tome LII, p. 353.)

Dans une note *sur l'action réciproque d'un aimant et d'un conducteur galvanique*, insérée dans le 37e vol. des *Annales de Chimie et de Physique*, Ampère a donné l'explication de la

[1] Les Allemands se plaignent souvent, et avec raison, du peu d'empressement qu'on met au delà du Rhin à les suivre dans leurs recherches et à apprécier leurs découvertes. Les *Archives* ont pour but d'être, autant que possible, un moyen de communication qui mette fin à cette délimitation scientifique des idées. Nous donnons ici la traduction d'un travail de Mr. Weber, qui date de 1841, comme nous avions déjà reproduit, il y a deux ans, un mémoire de Mr. Jacobi. On nous saura gré de ne pas retarder davantage la publication de divers morceaux qui ont enrichi depuis quelques années les excellentes *Annales* de Mr. Poggendorff.—Nous avons fait tous nos efforts pour reproduire le texte allemand d'une manière aussi claire que possible. Peut-être n'aurons-nous pas réussi à satisfaire nos lecteurs, même ceux qui auront pris connaissance des Résultats (*Resultate aus den Beobachtungen des Magnetischen Vereins*) publiés à Göttingen par MM. Gauss et Weber, et auxquels le mémoire de ce dernier renvoie en divers endroits. Mais nous croyons qu'une partie de l'obscurité doit être imputée à Mr. Weber qui n'a point cherché à éclaircir un sujet difficile et abstrait par un style châtié et exempt de néologismes. Et puisque nous faisons une réserve, nous en profiterons pour protester hautement contre la tendance illogique qui règne dans ce mémoire, dans le livre de Mr. Ohm, dont les *Archives* ont rendu compte, et dans d'autres productions des premiers savants de l'Allemagne, tendance qui consiste à présenter les résultats de recherches instrumentales comme les conséquences de certaines lois qu'on pose en prémisses et a priori, au lieu de montrer, conformément à la vérité historique, que ces lois *découlent* au contraire des expériences qu'on a faites dans un but plus ou moins déterminé, et d'avouer qu'elles *sont entachées de toutes les incertitudes et de toutes les irrégularités qui peuvent être inhérentes, dans l'état actuel de la science expérimentale, aux procédés d'observation qu'on a choisis*. (R.)

rotation découverte par Faraday d'un conducteur galvanique autour de l'axe de l'aimant, et il a cherché à y rattacher l'explication de la rotation découverte par lui-même d'un aimant autour de son propre axe, quand on fait traverser cet aimant par un courant galvanique.

Ampère commence par faire voir que, d'après les lois générales qu'il a établies, un courant fermé ne peut pas faire tourner un aimant autour de son axe, s'il n'a pas avec cet aimant une *communication solide*, ni lui-même, réciproquement, être mis en mouvement par l'influence de l'aimant, si toutes les parties du conducteur sont solidement unies entre elles. Mais, si une partie du courant fermé se trouve passer dans l'aimant même, cette partie, dit-il, forme avec l'aimant un *système solide* continu, dans lequel l'action et la réaction doivent nécessairement se neutraliser. Alors il ne reste plus que l'action de la partie du courant galvanique qui n'a point de communication avec l'aimant; et comme cette partie forme un courant qui *n'est pas fermé*, elle fait, en général, tourner l'aimant autour de son axe. Ampère fait observer, de plus, qu'il est indifférent qu'on fasse passer le courant galvanique *à travers* l'aimant, ou bien qu'une partie du conducteur soit seulement en communication solide avec l'aimant.

Les deux phénomènes dont Ampère essaie de rendre compte à l'aide des *mêmes* raisonnements, sont en réalité de nature différente, et demandent d'être expliqués chacun d'une manière particulière. L'explication qu'il en donne ne s'applique qu'à la rotation découverte par Faraday, et nullement à celle qu'il a découverte lui-même. Ce qui va suivre fera ressortir avec évidence la différence qui existe entre ces deux phénomènes [1].

Soit *ABCD* (fig. 1) [1] la section longitudinale d'un aimant, *abc* un conducteur galvanique isolé qui le traverse, et dont la

[1] Voyez la planche annexée par erreur à la fin du cahier précédent.

continuation extérieure est indiquée par des lignes pointées. Conformément à l'hypothèse d'Ampère, 1° le conducteur galvanique entier forme dans cette figure une ligne qui revient sur elle-même ; 2° la partie *abc* forme un système solide avec l'aimant. Or ces deux conditions ne se réalisent pas quand l'aimant tourne autour de son axe. Le conducteur isolé *abc* restera bien en communication solide avec l'aimant ; mais l'extrémité *c* décrira un cercle autour de l'axe de rotation, et sera ainsi séparée du reste du circuit, ainsi qu'on peut le voir dans la figure 2, dans le cas du moins où tout l'aimant ne sera pas entouré d'une ceinture conductrice avec laquelle l'extrémité *c* soit toujours en contact dans son mouvement circulaire. Alors même que ce contact non interrompu a lieu, il y a encore, outre les deux parties du conducteur qui ont été distinguées ci-dessus, une troisième partie, savoir la pièce de la ceinture qui établit la communication entre *c* et le conducteur indiqué par la ligne pointée, qui se distingue essentiellement des deux autres par sa longueur variable. Dans le phénomène de Faraday, cette ceinture conductrice était formée par du mercure.

Dans l'expérience d'Ampère, où il n'y a point de conducteur isolé qui passe à travers l'aimant, mais où le courant le traverse *librement* de *a* à *c*, il y a impossibilité d'admettre la supposition, faite par Ampère, que la partie du courant qui passe à travers l'aimant se comporte, pendant la rotation de celui-ci, exactement comme un courant qui passerait à travers le conducteur isolé *abc*, c'est-à-dire qu'elle forme un *système solide* avec l'aimant, et doive par conséquent elle-même prendre part au mouvement rotatoire, mais ne puisse pas le produire. Le magnétisme et le courant galvanique, bien que renfermés dans le même cylindre d'acier, ne forment pas un système solide ; car le magnétisme seul adhère aux molécules d'acier et ne peut être mu qu'avec elles. Le courant galvanique, au contraire, n'adhère pas aux molécules d'acier, mais il peut se mouvoir, librement et d'une manière indépendante, *dans toutes les*

directions à l'intérieur de l'aimant. On voit par là, avec évidence, que ce courant et le magnétisme ne peuvent pas être considérés, ainsi que le fait Ampère, comme des corps *solidement unis* qui se meuvent avec le cylindre d'acier, et dont l'action réciproque doit se neutraliser sans cesse. Or, s'il est vrai que le magnétisme soit solidement uni aux molécules d'acier, mais non pas le courant galvanique qui les traverse, il en résulte bien que ce courant peut mettre en mouvement le cylindre d'acier au moyen du magnétisme, mais non que ce dernier puisse mouvoir le cylindre à l'aide du courant. Ainsi devient nulle l'explication qu'Ampère donnait du mouvement d'un aimant à travers lequel on fait passer *librement* un courant galvanique ; et ce phénomène, que l'expérience met hors de doute, pourrait même paraître impossible d'après la théorie de ce savant ; conséquence à laquelle on échappe si, au lieu des courants hypothétiques d'Ampère, on admet *l'existence physique de fluides magnétiques* dans les molécules d'acier, existence que les recherches suivantes sont destinées à prouver. Les phénomènes sur lesquels elles portent sont les phénomènes d'induction découverts par Faraday, qui présentent une relation d'analogie avec les phénomènes électro-magnétiques mentionnés ci-dessus, et que l'on peut aisément appliquer à ceux-ci.

I. Observations générales.

Inductions bipolaire et unipolaire.

Nous supposons deux fluides magnétiques, le fluide nord et le fluide sud, existant en quantités égales dans les molécules d'un aimant, mais différant l'un de l'autre. Si cet aimant est mis en mouvement, il se développe, par induction et suivant des lois connues, un courant galvanique dans un conducteur voisin. Ce courant peut se décomposer en deux, dont l'un est dû au mouvement du fluide nord, et l'autre au mouvement du fluide sud. Appelons, en général, induction *bipolaire*

cette induction de deux courants par le mouvement des *deux* fluides magnétiques. Mais l'on peut aussi supposer une induction dans laquelle un seul fluide magnétique est en mouvement, et dans laquelle par conséquent le courant dû à l'autre est toujours nul, ou bien dans laquelle l'autre fluide développe par induction des courants tantôt positifs tantôt négatifs qui s'annulent les uns les autres, en sorte qu'il ne reste plus que le courant qui est dû au premier fluide : c'est cette induction que j'appelle *unipolaire*.

Méthode.

Supposons un conducteur qui ait la forme d'un cercle ou d'un anneau horizontal, et faisons descendre selon l'axe vertical de cet anneau un corps renfermant seulement du fluide nord. On voit se développer dans l'anneau un courant galvanique, dont la direction est opposée au mouvement diurne (tæglich)[1]. Si la vitesse du corps est uniforme à partir d'une hauteur infinie jusqu'au niveau de l'anneau, le courant croît depuis zéro jusqu'à une certaine valeur, qui diminue ensuite et s'annule lorsque le corps, après avoir traversé le plan de l'anneau, s'en est infiniment éloigné. Ainsi, pendant toute cette marche, la force du courant dans l'anneau varie bien, mais jamais sa direction. Si enfin on ramène de bas en haut ce corps renfermant le fluide nord, en lui faisant suivre non une ligne droite, mais une ligne circulaire dont le centre est dans l'anneau, de telle sorte qu'il reste toujours séparé de ce dernier par une distance infinie et n'exerce ainsi aucune influence sur lui, le premier mouvement peut recommencer, et le même courant se développer une seconde fois dans l'anneau. On pourrait ainsi prolonger à volonté la même induction avec un aimant renfermant seulement le fluide nord, et dans ce cas la force du courant subirait il est vrai des variations, mais non sa direction. La même chose

[1] C'est-à-dire qui va d'orient en occident.

aurait lieu avec un aimant qui ne renfermerait que le fluide sud ; mais alors le courant aurait une direction opposée. Dans les deux cas on peut abréger considérablement le chemin parcouru par l'aimant, parce que, quel que soit celui qu'on lui fasse suivre, soit en descendant pour traverser l'anneau, soit en remontant autour de celui-ci pour le ramener à sa position primitive, l'induction est la même. Si donc on veut avoir une induction uniforme continue avec un aimant qui renferme seulement un fluide magnétique, il est essentiel que, dans son mouvement de haut en bas, cet aimant traverse l'anneau, et qu'en remontant il tourne autour de lui, ou vice versâ. Mais si, dans sa marche descendante et ascendante, on le fait traverser par l'anneau, ou tourner autour de lui, la direction du courant induit change, et l'effet total est nul.

Il est facile d'appliquer ces lois au second cas dans lequel l'aimant inducteur renferme en égale quantité *les deux* fluides qui se meuvent en même temps que lui. Le courant induit à chaque instant et d'une manière simultanée par les deux fluides est la somme des courants induits dans cet instant par chaque fluide séparément ; d'où résulte que :

1. Si l'aimant est enlevé, puis ramené à sa position primitive, de façon que, ni en descendant ni en montant, il ne traverse l'anneau, ou qu'il le traverse dans les deux cas, l'effet total est nul, parce que le fluide sud développe par induction un courant égal mais opposé à celui que produit le fluide nord.

2. Si pendant sa marche l'aimant ne traverse qu'une fois l'anneau (en descendant ou en montant), l'effet total est aussi nul, parce que le fluide sud et le fluide nord développent par induction des courants égaux mais opposés.

Mais il ne résulte point de ce qui précède qu'avec un aimant qui renferme les deux fluides en égale proportion il soit impossible d'obtenir une induction uniforme continue, comme avec un aimant qui ne renferme qu'un fluide ; il reste plutôt un troisième cas à examiner, qui n'est pas renfermé dans les

deux précédents, et qui n'est possible que s'il existe réellement des fluides magnétiques, et que si ces fluides sont *décidément séparés* dans les molécules de l'aimant ; ce cas est le suivant :

3. Une molécule magnétique se meut de manière à ne passer entièrement ni à travers l'anneau, ni en dehors, mais à faire moitié l'un, moitié l'autre, de façon, par exemple, que la moitié renfermant le fluide nord traverse l'anneau en descendant et tourne autour en remontant, ou vice versâ, tandis que l'autre moitié qui renferme le fluide sud reste toujours en dehors. Alors l'effet total n'est pas nul, car le fluide qui a traversé l'anneau a développé par induction un courant qui n'est pas neutralisé, tandis que l'autre fluide (qui n'a pas traversé l'anneau) n'en a point développé, ou en a développé un qui est inverse et dont l'effet disparaît en entier. Mais l'anneau étant un corps solide, de même que la molécule magnétique, on conçoit aisément que ce troisième cas n'est possible qu'autant que l'un des deux est rompu. Or, une molécule magnétique ne peut pas être partagée de manière que chacune de ses parties ne renferme qu'un fluide, ce qui serait nécessaire pour qu'il ne passât qu'un seul fluide à travers l'anneau non rompu. C'est donc l'anneau qui doit être rompu, et ce n'est pas difficile à obtenir ; il faut seulement faire attention que pendant cette opération le circuit galvanique ne soit point interrompu. Il y a deux manières d'obtenir ce résultat : *a*) lorsque la molécule magnétique indivisible est dans des conditions telles que le courant galvanique puisse passer exactement entre les deux fluides, alors, pendant la rupture de l'anneau, cette molécule peut servir de conducteur entre les deux parties ; *b*) en faisant faire au fil de cuivre qui constitue l'anneau, avant sa rupture, une révolution autour du milieu de l'aimant, puis, après la coupure pratiquée en *c* derrière le barreau magnétique, en employant la jonction au point de contact *a*. Sur ce point on peut tirer les extrémités *cba*, *cb'a* jusqu'à ce que leur soudure en *a* se rétablisse comme avant la section. (Voy. fig. 3.)

Nous ne nous occuperons ici que de la première méthode. Pour satisfaire à la supposition qu'elle renferme, on n'a qu'à aimanter un barreau d'acier, de manière que son axe magnétique coïncide avec son axe géométrique, et à le faire tourner ensuite autour de cet axe. En mettant alors en contact une des extrémités d'un fil conducteur avec l'axe de rotation en *A* (voy. fig. 4), et l'autre avec la périphérie du cylindre en *B*, le fil forme avec le cylindre un conducteur circulaire *ABCDA* qui reste constamment fermé pendant le mouvement du cylindre sur lui-même. Soit maintenant *ns* une molécule magnétique dans le cylindre, ayant à son extrémité *n* le fluide nord, et à l'extrémité *s* le fluide sud. Supposons que par le milieu de cette molécule on puisse faire passer un courant galvanique. En imaginant, de plus, que le conducteur *ABCDA* passe par le point où se trouve maintenant le milieu de cette molécule, on voit aisément qu'à chaque tour du cylindre le fluide *n* traversera en descendant l'anneau du circuit voltaïque, et tournera autour de cet anneau en remontant, si l'on admet, d'ailleurs, que *ns* descende quand le cylindre tourne, et après un demi-tour arrive en $n's'$ pour remonter ensuite à partir de là. Le fluide sud reste, au contraire, toujours hors de l'anneau pendant que le cylindre tourne. Dans ces circonstances il peut donc se développer un courant continu, uniforme, dans la direction indiquée par la flèche; les expériences de Faraday l'ont déjà démontré, et celles qui vont suivre serviront à le confirmer. Mais avant de les exposer, voici quelques principes qui ont dirigé dans la manière de les faire.

Lois.

1. Si les fluides magnétiques sont partout uniformément séparés, l'induction est la même dans toutes les directions, depuis le point de contact de la surface du cylindre jusqu'à celui de l'extrémité de l'axe de rotation.

Supposons que, dans le cylindre en mouvement, toutes les

molécules magnétiques aient la même énergie et aient entre elles la même distance que si le cylindre était divisé, par exemple, en autant de petits cubes égaux qui porteraient une molécule magnétique à chacune de leurs extrémités ; ces molécules formeront alors des lignes parallèles à l'axe de rotation. Quelle que soit la direction que prenne le courant, il sera obligé de passer à travers toutes les séries de molécules qui se trouvent entre la surface du cylindre et son axe, et le nombre probable des molécules magnétiques qu'il traversera dans sa route est proportionnel au nombre n de ces séries ; de plus, il est en relation directe avec la longueur l de ces molécules[1], et inverse avec leur distance a; il peut donc être représenté par $\frac{nl}{a}$. Or, comme on suppose que les molécules sont égales entre elles et qu'elles sont à égale distance les unes des autres (l et a étant des constantes), il en résulte que le nombre des coupures devra être le même dans tous les sens. Cela est vrai aussi des directions qui conduisent au delà de l'axe de rotation et qui coupent encore de l'autre côté de cet axe plusieurs séries de molécules, jusqu'à ce qu'elles atteignent l'extrémité de l'axe. Il est clair, en effet, qu'une direction de ce genre coupera deux fois chaque série de l'autre côté de l'axe, en s'éloignant de l'axe et en s'en rapprochant, et chaque fois avec la même chance de rencontrer une particule magnétique. Mais l'induction produite par la coupure d'une molécule dans la marche qui éloigne de l'axe est détruite par celle qui a lieu au retour, de sorte que, selon toute apparence, l'induction est réduite à zéro dans cette double marche.

2. Si le courant galvanique va simultanément dans plusieurs directions, de la surface du cylindre à son axe, et que sur

[1] Il semble que ce devrait être l'inverse : plus les molécules sont longues, moins il doit y en avoir sur la même série. Mais l n'est peut-être que le nombre des molécules d'une série, en sorte que nl représenterait leur somme. (R.)



toutes l'induction soit la même, celle-ci a la même force que si le courant passait dans une seule direction.

On sait que lorsqu'on construit plusieurs piles galvaniques égales, et qu'on réunit ensemble leurs pôles semblables en les faisant communiquer aux extrémités d'un long circuit, si par conséquent tous les courants qui partent de ces piles se réunissent immédiatement, cheminent ensuite à travers le long circuit, et enfin se divisent de nouveau immédiatement avant de rentrer dans les piles pour revenir à leur point de départ, le courant est aussi fort que si les extrémités du circuit étaient en contact avec les pôles d'une seule pile, pourvu du moins que la résistance soit nulle dans le circuit. En appliquant ce principe au cas qui nous occupe, on peut comparer toute direction à travers le cylindre à la route à travers une pile; on arrive ainsi à la règle que nous avons posée, parce que la résistance du cylindre est nulle, comparée à celle du reste du circuit. De là résultent les règles suivantes :

3. L'induction est indépendante du nombre des points qui sont touchés à la surface du cylindre.

4. L'induction est indépendante de la longueur du cylindre dont les molécules ont toutes une force magnétique égale.

5. Toutes choses égales, l'induction est proportionnelle à la section transversale du cylindre.

6. Si parmi les directions qu'on peut imaginer dans le cylindre il en est quelques-unes pour lesquelles l'induction soit plus grande, d'autres pour lesquelles elle soit moindre, le courant sera aussi fort que s'il avait traversé le cylindre par la dernière seulement.

Cette dernière loi se déduit de la comparaison du cas en question avec celui d'un fil conducteur qui est divisé à son extrémité et conduit dans plusieurs piles *inégales*. En effet, si le courant est divisé de façon que quelques branches passent par des piles énergiques, et d'autres par des piles faibles, le courant sera aussi fort dans le reste non divisé du circuit, que s'il

n'était pas divisé et qu'il passât seulement par la pile la plus faible, supposé toutefois que la résistance dans les piles fût nulle en comparaison de celle de tout le circuit. Si une portion du courant galvanique, au lieu de passer à travers une pile, passait à travers un conducteur dans lequel la résistance fût également nulle relativement à celle de tout le circuit, ce courant disparaîtrait dans la partie non divisée du circuit. Il est aisé d'appliquer ce principe au cas qui nous occupe. Toute induction devrait disparaître, si on faisait communiquer, à l'aide d'une douille de cuivre, la surface du cylindre avec l'axe de l'aimant.

7. Si le cylindre est également aimanté dans toutes ses parties, il suffit de le faire tourner deux fois sur lui-même pour produire, par induction, un courant égal à celui que développe le même cylindre, au moyen d'une *alternative*[1], dans un rouleau inducteur dont le fil ne fait qu'un tour, pourvu que le diamètre de cet inducteur soit très-petit relativement à la longueur du cylindre.

Si M désigne le moment magnétique du cylindre, L sa longueur, et que les deux fluides soient distribués sur les deux faces extrêmes du cylindre, ce qu'on peut admettre si on suppose que toutes les parties du cylindre sont également aimantées, on aura $\frac{M}{L}$ pour la quantité du fluide nord ou sud qui se trouve sur l'une ou sur l'autre des faces extrêmes. Le courant sud, induit par *une alternative*, est alors égal à celui qui serait induit par un seul fluide $\pm \frac{M}{L}$, si on le faisait passer à travers l'anneau inducteur deux fois par le même chemin et dans la même direc-

[1] *Wechsel*, que nous traduisons par *alternative*, doit s'entendre, sauf erreur, d'une demi-rotation du fil induit qui alterne ses extrémités (et par conséquent le sens du courant) par rapport aux pôles fixes de l'aimant. (R.)

tion ; d'où résulte qu'on a $S = 2c.\frac{M}{L}$, c étant une constante qui dépend uniquement de la résistance de la pile. Si l'inducteur faisait plusieurs tours, il faudrait multiplier c par le nombre de ces tours.

Si ce cylindre est formé de molécules toutes égales et parallèles, dont chacune possède un moment magnétique m avec une longueur l, et dont la distance est égale à a, le nombre de ces molécules est égal au volume du cylindre divisé par le cube de la distance a, où $= \frac{\pi R^2 L}{a^3}$, R étant le demi-diamètre. La somme des moments de toutes les molécules est égale au moment M ou $\frac{\pi R^2 L}{a^3}.m = M$. Soit $+\frac{m}{l}$ le fluide nord à l'une des extrémités de chaque molécule, et $-\frac{m}{l}$ le fluide sud à l'autre de ces extrémités ; pour avoir la quantité de fluide nord (ou sud) qui passe par le circuit de la pile à chaque révolution du cylindre, et qui développe par induction un courant homogène continu, l'on multiplie $\pm\frac{m}{l}$ par le nombre des séries de molécules du cylindre et par le rapport $\frac{l}{a}$ qui indique à quel degré il est vraisemblable que le courant, en traversant une série de molécules, partage une de ces molécules. La quantité de fluide inducteur qui traverse le circuit de la pile à chaque tour du cylindre est donc :

$$= \frac{m}{l}.\frac{\pi R^2}{a^2}.\frac{l}{a} = \frac{\pi R^2 m}{a^3};$$

d'où résulte que le courant inducteur pour chaque tour du cylindre est

$$s = c.\frac{\pi R^2 m}{a^3}$$

où c a la même valeur que précédemment. En comparant maintenant entre eux les deux courants, on trouve :

$$S = 2s$$

c'est-à-dire que le courant d'induction développé par deux révolutions du cylindre est égal à celui qui est produit par une alternative, dans la supposition que le fil du rouleau inducteur forme un seul tour.

8. Lorsque quelques parties du cylindre sont plus fortement aimantées que d'autres, le courant d'induction développé par deux révolutions du cylindre est plus faible que celui qui est produit par une alternative, dans la supposition que le fil du rouleau inducteur ne forme qu'un tour très-petit relativement à la longueur du cylindre.

Parmi les directions que prend le courant galvanique à travers le cylindre, il en est une qui passe par la plupart des parties faiblement aimantées. Le courant induit par le mouvement du cylindre n'est pas plus fort (d'après la règle n° 6) que si le cylindre était faiblement et uniformément aimanté dans toutes ses parties. Le courant induit par une alternative est renforcé, au contraire, quoique le magnétisme du cylindre ne soit pas renforcé dans toutes les parties, mais seulement dans quelques-unes; ce qui donne lieu naturellement à la règle ci-dessus.

II. Instruments.

Voici ceux dont je me suis servi pour l'induction unipolaire. (Voy. fig. 5 et 6.)

1. *Deux aimants cylindriques.*

Deux cylindres d'acier trempé, aimantés dans le sens de leur axe, ayant l'un 269mm de longueur, et 23mm d'épaisseur, l'autre 502mm, 20mm,5 ont été munis d'une pointe à l'extrémité nord, et d'un pas de vis intérieur à l'extrémité sud. A celle-ci on a fixé une roue dentée (à 40 dents), dont l'axe se terminait

par une pointe. Le premier cylindre a été aimanté deux fois, une première fois faiblement, ensuite plus fortement de manière à présenter, d'abord, un moment magnétique de 65, puis de 108 millions, mesure absolue. Le second cylindre a reçu un moment magnétique de 450 millions.

2. *Un engrenage.*

Le même que j'ai décrit dans les *Résultats* pour 1837, à l'occasion de l'inclinatoire d'induction. J'y ai ajouté une roue à 60 dents, qui engrenait dans celle qui était fixée aux aimants. Chaque tour de la manivelle en faisait faire $8^4/_7$ au cylindre d'acier. L'engrenage a été joint à l'aimant au moyen d'un support composé d'une pince de fer à branches plates, sur laquelle on a vissé l'engrenage et à l'extrémité de laquelle se trouvait un petit enfoncement dans lequel on a fait entrer la pointe de la petite roue fixée à l'aimant, tandis que la pointe tenant à l'extrémité nord de l'aimant entrait dans un semblable enfoncement d'une autre pince. Ces pinces pouvaient servir, dans quelques expériences, à rapprocher le plus possible deux gros aimants des deux extrémités opposées de l'aimant en mouvement ; dans ce cas le poids des deux aimants maintenait les pinces fixes à leur place. Quand on ne se servait pas des aimants, on vissait les pinces à la table sur laquelle était l'appareil.

3. *Magnétomètre et multiplicateur.*

Le magnétomètre était le même que celui qui est décrit dans le troisième cahier des *Résultats*. On l'a préféré à un plus grand, parce que le fil du multiplicateur (destiné à la mesure des courants induits) avait une longueur moins considérable (environ 600 mètres) et faisait un plus grand nombre de tours (2000). La première de ces circonstances rendait la résistance moindre et le courant d'induction plus fort ; la seconde multipliait la force du courant ; toutes deux réunies, elles augmentaient la déviation de l'aiguille. Pour accroître encore ce der-

nier effet, on a placé environ à deux mètres un barreau aimanté, du poids de 25 livres, au sud du magnétomètre, dont la pointe sud était tournée vers le nord. Le magnétisme de ce barreau fit équilibre dans l'aiguille à une grande partie du magnétisme terrestre, et augmenta par là la sensibilité du magnétomètre, comme aurait pu le faire un système astatique. La durée des oscillations, au lieu d'être environ de dix secondes, fut portée à une vingtaine.

4. *Jonction des extrémités du fil avec l'aimant mobile.*

L'extrémité du multiplicateur qui devait communiquer avec l'extrémité de l'axe de rotation, a été attachée à la pince de fer sur laquelle l'engrenage était vissé, et dans laquelle entrait la pointe qui terminait l'axe de rotation. On a plongé l'autre pôle du multiplicateur dans un godet rempli de mercure, placé sous l'aimant en mouvement. On avait fixé autour de l'aimant, dans le milieu de sa longueur, un disque de laiton qui tournait avec lui et dont le bord inférieur plongeait dans le mercure. De cette manière le mouvement de rotation de l'aimant n'a pas été arrêté par la réunion de ce liquide conducteur avec les deux extrémités du multiplicateur.

5. *Rouleau inducteur.*

On a fait vingt tours autour d'un anneau de bois de 44^{mm} de diamètre, avec un fil de cuivre entouré de soie, semblable à celui du multiplicateur. Cet anneau a servi d'inducteur. La résistance était si petite qu'on a pu la négliger à côté de la grande résistance du multiplicateur; aussi les courants d'induction obtenus avec le même aimant, soit par son mouvement de rotation, soit par le mouvement imprimé au rouleau, indiquaient immédiatement la grandeur de l'induction.

III. Expériences.

Les aimants employés aux expériences dont il va être ques-

tion, étaient, comme tous les aimants, inégalement magnétiques dans leurs diverses parties, plus faiblement aux extrémités et plus fortement vers leur milieu. Ils ne remplissaient donc pas la condition voulue par les principes ci-dessus ; et dans le fait on ne peut préparer aucun aimant qui y satisfasse entièrement. Si donc il faut se contenter, dans ces expériences, de barreaux qui sont souvent bien éloignés d'offrir une aimantation parfaitement uniforme, on ne peut pas non plus s'attendre que les règles établies plus haut puissent s'appliquer immédiatement et avec exactitude à ces expériences, ni qu'on puisse déterminer d'avance à leur aide la force des courants d'une manière précise. Ces règles ne peuvent ainsi servir qu'à donner une idée approximative de la force des courants qui doivent se produire, ou à déterminer de quelle grandeur ces courants doivent être. Ils indiquent seulement la *limite* de force, dont les courants d'induction s'approchent, mais qu'ils n'atteignent pas, tant que le cylindre est aimanté d'une manière inégale. Les expériences qui suivent ont, par conséquent, pour but principal de rechercher si réellement un courant se développe de la manière dont il a été dit ; en outre, si la force de courant est du même ordre de grandeur que la force d'un courant d'induction développé par le moyen qui a été décrit ; enfin, si, comme on peut s'y attendre d'après le principe 8, le premier de ces courants est surpassé par le dernier. Ces questions résolues affirmativement, il faudra encore essayer de modifier les conditions extérieures dans la *première* induction, de façon que le courant produit s'approche davantage de la limite indiquée, et même que l'autre courant, jusqu'ici plus fort, soit surpassé par celui-ci. La cause qui empêche le courant d'induction d'atteindre la limite établie plus haut, et qui consiste dans la diminution de l'aimantation de l'aimant depuis son milieu jusque vers ses extrémités, cette cause peut être annulée partiellement, ou dans son entier, si l'on approche de gros aimants de l'aimant en expérience, de manière à le renforcer à ses extrémités, sans

anger sensiblement l'aimantation vers le milieu. Si l'on pouvait lmettre que par ce moyen l'aimantation, en restant absolument ı même dans le milieu de l'aimant, y devient un minimum au ieu du maximum qu'elle était d'abord, il en résulterait que le courant d'induction ne pourrait jamais être *plus faible* que ne l'indique la limite fixée plus haut; et cette limite serait elle-même devenue limite *inférieure*, de *supérieure* qu'elle était. Mais il est aisé de reconnaître qu'ici la longueur de l'aimant, l'aimantation primitive et la douceur de l'acier de l'aimant ont une grande influence ; et l'on peut s'attendre que 1° quand on fera tourner sur son axe un cylindre court, faiblement aimanté, et placé entre deux barreaux aimantés, il se développera un courant d'induction qui dépassera la limite fixée ; que 2° ce courant s'approchera d'autant plus de cette limite, que le cylindre sera plus fortement aimanté ; 3° que si l'on fait mouvoir le cylindre librement sans l'aide d'autres aimants, le courant d'induction n'atteindra pas cette limite, mais s'en approchera d'autant plus que le cylindre sera plus fortement aimanté, et qu'au plus haut degré d'aimantation de ce dernier, le courant restera encore éloigné de cette limite, parce que l'accroissement dans l'aimantation peut bien diminuer l'inégalité qui existe sous ce rapport entre le milieu et les extrémités, mais jamais la faire disparaître ; 4° que lorsqu'on fait tourner autour de son axe un très-long cylindre, même fortement aimanté, il faut s'attendre que le courant d'induction n'atteindra jamais la limite fixée, et que le faible accroissement de force qui résultera de l'action d'aimants auxiliaires, mis en présence des extrémités du barreau, ne pourra l'en faire beaucoup approcher, cette action des aimants auxiliaires ne pouvant s'étendre à une grande distance des extrémités, ni accroître tellement l'intensité d'aimantation dans tous les points de cette partie de l'aimant, que de l'y rendre inégale à celle du milieu. Voici des séries d'expériences qui sont destinées à le démontrer.

Première série. — Mouvement rotatoire d'un cylindre court,

faiblement aimanté, et dont on renforça les extrémités au moyen de deux aimants auxiliaires.

Le cylindre avait 269^{mm} de longueur et 23^{mm} d'épaisseur; son moment magnétique était de 65 millions, mesure absolue.

60 tours en 7 secondes.

MOUVEMENT EN AVANT.			MOUVEMENT EN ARRIÈRE.		
616,3			743,0		
626,8	623,3		732,5	736,0	
619,7	622,1		739,2	737,0	
623,0	621,9	622,56	734,8	736,3	736,54
623.2	623,1		738,8	737,5	
622,0	622,4		734,5	735,9	
617,0			734,2		
626,2	623,1		738,0	736,7	
620,7	622,5		736,5	737,0	
623,0	622,2	622,02	737,5	737,2	737,12
620,0	621,0		737,0	737,2	
622,0	621,3		737,8	737,7	

La première colonne renferme les maxima et minima du magnétomètre pendant le mouvement rotatoire; la deuxième, la position vraie de l'instrument, calculée d'après deux observations et en tenant compte de l'action des étouffoirs[1]; la troisième donne la moyenne des cinq positions de la précédente. Si on compare les valeurs de la troisième colonne, leurs différences, qui se rapportent alternativement à l'un et à l'autre des deux mouvements, présentent un nombre qui est le double de l'effet produit par le courant d'induction:

En avant	622,56		
En arrière	736,54	113,98	
En avant	622,02	114,52	114,53
En arrière	737,12	115,10	

On a trouvé de la même manière 56, 52 pour le double

[1] Le *Dämpfer*, ou étouffoir, est une pièce de cuivre dans le voisinage de l'aimant, et qui en paralyse les vibrations par induction. (R.)

de l'effet produit par 30 révolutions en 7 secondes, nombre qui est à peu de chose près la moitié du précédent. En moyenne, on peut donc fixer à 57,02 l'effet simple produit par 60 tours en 7 secondes, c'est-à-dire à 6,652 pour un tour par seconde, ou 13,304 pour deux par seconde. Comme point de comparaison, j'ai fait aussi, avec le même aimant, les expériences d'induction qui ont été décrites dans le troisième cahier des *Résultats* (p. 98). La durée de l'oscillation de l'aiguille du magnétomètre a été de 20″,5, et le rouleau avait 20 tours. Il a fallu éloigner les aimants auxiliaires. Nous nous contenterons de présenter les observations d'élongation, sans ajouter les détails des alternatives, qui se trouvent exposés dans le livre que nous venons d'indiquer.

Élongations.	a	b	Élongations.	a	b
643,0			639,0	8,5	
637,0	8,2		650,7	. . . . . .	16,5
651,2	. . . . . .	17,0	655,5	8,7	
654,0	9,2		642,0	. . . . . .	17,7
642,0	. . . . . .	16,0	637,8	8,5	
638,0	9,0		650,5	. . . . . .	16,7
651,0	. . . . . .	15,2	654,5	8,7	
653,0	8,0		641,8	. . . . . .	16,3
643,0	. . . . . .	15,7	638,2	8,2	
637,5	7,8		650,0	. . . . . .	15,3
650,8	. . . . . .	16,7	653,5	8,0	
664,2	8,6		642,0	. . . . . .	15,5
642,2	. . . . . .	15,2	638,0		

D'où l'on tire les moyennes $a = 8,45$

$$b = 16,15$$

$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} = 28,44$$

En multipliant la dernière valeur par $\frac{t}{\pi n}$, où t représente la durée de l'oscillation de l'aiguille (20″,5), et n le nombre des tours du fil inducteur (20), on trouve pour l'effet simple pro-

duit par un tour et une alternative par seconde, 9,279, nombre qui est inférieur à 13,304, trouvé pour 2 tours par seconde ; ainsi le courant qui a produit ce dernier est plus fort que celui auquel le premier est dû, ce qui confirme ce qui a été dit plus haut (n° 1).

Deuxième série. — Mouvement rotatoire d'un cylindre court, fortement aimanté. Les extrémités renforcées par des aimants auxiliaires.

Le cylindre avait 269^{mm} de longueur, et 23^{mm} d'épaisseur; son moment magnétique était de 108 millions, mesure absolue. Les expériences ayant été faites comme les précédentes, nous ne donnerons ici que les résultats. La valeur de l'effet double, pour 60 tours en 7 secondes, a été de 152,50; pour 30 tours dans 7 secondes, de 76,61. D'où, en moyenne, on peut fixer à 76,37 la valeur de l'effet simple pour 60 tours, ou de l'effet double pour 30 tours dans 7 secondes, c'est-à-dire à 8,91 la valeur de l'effet simple pour un tour par seconde, ou 17,82 pour deux tours par seconde.

Comme point de comparaison, on a répété les expériences avec le rouleau inducteur, formé de 20 tours, et dans lesquelles $t = 21''44$, et l'on a obtenu :

$$a = 14{,}22$$
$$b = 26{,}94$$
$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} = 47{,}412$$

En divisant la dernière valeur par $\frac{n}{t}\,\pi = \frac{20}{21{,}44}\,.\,3{,}14159$, on a 16,178 pour le résultat produit par un tour et une alternative par seconde; ainsi le courant auquel est dû le résultat 17,82 est peu supérieur en force au courant qui a produit ce dernier (16,178), ce qui est conforme à ce qui avait été dit plus haut (n° 2).

Troisième série. — Mouvement rotatoire d'un cylindre court, fortement aimanté, sans aimants auxiliaires.

Même cylindre que pour la deuxième série. La valeur de l'effet double, produit par 60 tours dans 7 secondes, a été trouvée =64,33, et pour 30 tours dans 7 secondes =31,83; moyenne 32,05 pour l'effet simple produit par 60 tours, ou pour l'effet double produit par 30 tours dans 7 secondes; c'est-à-dire 3,74 pour l'effet simple d'un tour par seconde, ou 7,48 pour l'effet simple de deux tours par seconde. Le courant qui a produit ce résultat est donc inférieur, il est vrai, à celui auquel est dû l'effet représenté par 16,178 (ce qui confirme le contenu du n° 3); cependant il est toujours du même ordre de grandeur, en sorte que d'après le n° 8 on paraît être en droit d'attribuer leur différence, à la différence considérable qui existe entre l'aimantation des parties centrales et celle des parties extrêmes, dans un barreau dont les deux bouts ne sont pas renforcés par des aimants auxiliaires.

Quatrième série. — Mouvement d'un cylindre long, fortement aimanté; aimants auxiliaires aux extrémités.

Cylindre de 502^{mm} de longueur, et $20^{mm},5$ d'épaisseur; moment magnétique = 450 millions, mesure absolue. L'effet double pour 60 tours dans 7 secondes = 194,22, pour 30 tours dans 7 secondes = 97,85; moyenne 97,36 pour l'effet simple de 60 tours, ou pour l'effet double de 30 tours dans 7 secondes; c'est-à-dire 11,36 pour l'effet simple d'un tour par seconde, ou 22,62 de deux tours par seconde.

On a répété, avec le même aimant, les expériences d'induction faites avec le rouleau inducteur, formé de 20 tours, $t = 22'',34$. On a eu $a = 28,76$

$$b = 57,69$$

$$\frac{a^2 + b^2}{\sqrt{ab}} = 102,01$$

En divisant cette dernière valeur par $\frac{n}{t}\pi = \frac{20}{22,34} \cdot$ 3,14159, on a pour le résultat d'un tour et une alternative par seconde, 36,27, résultat supérieur au précédent (22,72);

on voit donc que le courant auquel est dû ce dernier n'équivaut pas à celui qui a produit l'autre, ce qui est en accord avec ce que faisait présumer le n° 4.

Cinquième série. — Dans les expériences qui suivent, le disque de laiton qui plonge dans le mercure, au lieu d'être fixé au milieu du cylindre, l'a été à son extrémité, afin de confirmer le principe, d'après lequel la longueur de la route que le courant d'induction doit parcourir dans l'aimant, parallèlement à l'axe de rotation, n'a point d'influence sur la force du courant. L'induction du courant a eu lieu d'abord à l'extrémité de l'axe la plus éloignée du disque, puis à celle qui en était la plus rapprochée.

Cylindre et aimants auxiliaires, les mêmes que dans la série précédente.

1. Induction à l'extrémité de l'axe la plus éloignée du disque. Double effet pour 30 tours dans 7 secondes = 57,12.

2. Induction à l'autre extrémité de l'axe. Double effet pour 30 tours dans 7 secondes = 59,08.

Le courant n'a donc pas été renforcé, et la différence entre les deux résultats est trop petite pour qu'on puisse en conclure le contraire.

Sixième série. — Mouvement d'un cylindre long, fortement aimanté; point d'aimants auxiliaires.

Le même cylindre que dans les deux séries précédentes; le disque de laiton au milieu du cylindre. L'effet double pour 30 tours dans 7 secondes = 61,70; d'où l'effet simple pour un tour par seconde = 7,20, ou 14,40 pour deux tours. Donc le courant auquel est dû cet effet, est bien inférieur en force à celui qui a produit le résultat représenté par 36,27 que nous avons vu dans la quatrième série; c'est ce que faisait présumer d'ailleurs le contenu de la loi n° 4.

Septième série. — On a répété les expériences de la série précédente, en faisant avancer jusqu'au bout du cylindre le disque de laiton, pour confirmer le résultat trouvé dans la cin-

quième série, même dans le cas où l'on ne se sert pas d'aimants auxiliaires.

1. Induction à l'extrémité de l'axe la plus éloignée du disque. —L'effet double pour 30 tours dans 7 secondes a été de 20,44.

2. Induction à l'extrémité de l'axe la plus rapprochée du disque. — On a trouvé 21,66 pour l'effet double de 30 tours dans 7 secondes.

On voit aisément que le courant induit n'a pas acquis une force plus grande en parcourant une plus longue route dans le premier des deux cas.

IV. Applications.

1. *Application à la théorie électro-dynamique d'Ampère sur les phénomènes magnétiques.*

Les phénomènes de l'induction unipolaire trouvent d'abord une application intéressante dans la théorie électro-dynamique d'Ampère, relative aux phénomènes magnétiques, ou dans cette double question : faut-il attribuer une existence physique aux deux fluides magnétiques? ou bien, peut-on expliquer d'une manière satisfaisante les phénomènes de l'induction unipolaire, en admettant l'existence de courants galvaniques continus? Voilà ce qu'il s'agit de décider. La dernière de ces hypothèses ne paraît pas pouvoir suffisamment rendre compte de l'induction unipolaire, tandis que la première non-seulement paraît pouvoir le faire, mais a tout d'abord provoqué l'observation de ces phénomènes.

Si l'on voulait tenter d'expliquer par la théorie électro-dynamique d'Ampère relative aux phénomènes magnétiques, ceux de ces phénomènes qu'on a désignés sous le nom d'induction unipolaire, on serait obligé d'y renoncer par la raison que, d'après ce célèbre physicien, les courants galvaniques ne se décomposent que dans les éléments qui s'attirent ou se repoussent dans la ligne droite par laquelle ils sont réunis. Il est, en

effet, aisé de reconnaître qu'un élément du courant situé dans le plan de l'anneau ne peut pas être mis en mouvement perpendiculairement à l'anneau par un courant agissant dans celui-ci, et *vice versâ*, car un mouvement semblable imprimé à l'élément du courant ne peut pas développer un courant d'induction dans l'anneau. Mais ce qui paraît être le point essentiel de l'induction unipolaire, c'est qu'il y ait induction au moment où l'élément inducteur se trouve dans le plan de l'anneau, parce que, si l'induction est nulle dans ce moment-là, il y a passage de la positive à la négative, ou réciproquement. Or, ce qui distingue l'induction unipolaire, c'est l'absence d'un semblable passage. Il semble donc inutile de chercher à expliquer l'induction unipolaire d'après la théorie électro-dynamique d'Ampère, aussi longtemps, du moins, qu'on se borne à décomposer les courants galvaniques dans des éléments qui s'attirent ou se repoussent, selon la ligne droite par laquelle ils sont réunis.

On reconnaît encore mieux l'inutilité de cette tentative, quand on étudie, sous ce rapport, le beau théorème dont Ampère a le premier donné la démonstration, et au moyen duquel les effets magnétiques des courants galvaniques peuvent être définis. D'après ce théorème on peut supposer, à la place de tout courant linéaire qui limite une surface quelconque, les fluides magnétiques distribués des deux côtés de cette surface, séparés d'elle par des distances excessivement petites, et produisant l'effet dont il est question. Maintenant, qu'on fasse d'abord attention qu'avec un courant linéaire qui revient sur lui-même, nous pouvons supposer un nombre infini de surfaces auxquelles il sert de limite; en second lieu, que l'on ne peut appliquer à l'effet du courant que ce qui concerne en commun les effets des fluides magnétiques, distribués sur toutes ces surfaces; en d'autres termes, que, dans la substitution ci-dessus, on ne peut tirer de la distribution des fluides magnétiques sur l'une de ces surfaces aucune conséquence qui ne résulte aussi

de la distribution de ces mêmes fluides sur chacune des autres surfaces. Or, supposons un petit conducteur circulaire à travers lequel passe, sans interruption, un courant galvanique qui est censé être un élément magnétique d'après la théorie d'Ampère; supposons que le plan de ce conducteur soit perpendiculaire au plan de la figure 7, et que AB soit le diamètre du cercle; des deux côtés de ce diamètre, et à des distances d'une petitesse inappréciable du plan du cercle, supposons distribués en AaB et $Aa'B$ le fluide nord et le fluide sud: ce conducteur peut recevoir un mouvement tel que le magnétisme en a passe par le cercle inducteur, tandis que a' reste toujours en dehors. Mais il est aisé de voir qu'ici l'on a tiré, de la distribution des fluides magnétiques sur le plan du cercle, une conséquence qui ne résulterait pas de leur distribution sur une autre surface quelconque, limitée par le même cercle, et qui par conséquent ne peut pas s'appliquer à l'effet du courant galvanique dans le cercle en question.

2. *Application à la distribution du magnétisme dans l'intérieur d'aimants permanents.*

Les effets des aimants qu'on observe pour l'ordinaire sont des effets extérieurs, qui permettent de se représenter de mille manières le mode de distribution du magnétisme à l'intérieur. On a même été jusqu'à supposer qu'il n'existait point de magnétisme à l'intérieur, et qu'il était tout réparti à la surface. Mais d'autres physiciens, en *brisant* un aimant, ont démontré que cette supposition n'était point d'accord avec la nature.

L'induction unipolaire nous a fait connaître, dans un aimant, des effets exercés par lui sur les fluides électriques qui existent à son intérieur, et auxquels il imprime un mouvement de courant. Il semble donc qu'on devrait se servir de l'induction unipolaire pour étudier le mode de distribution du magnétisme dans un aimant, sans briser celui-ci. Quoiqu'on ne puisse, par ce moyen, obtenir une connaissance complète de cette distri-

bution, les résultats peu nombreux auxquels on arrive n'en ont pas moins une grande importance.

Depuis le point où le fil conducteur est en contact avec la surface cylindrique de l'aimant jusqu'à l'extrémité de l'axe de rotation en contact avec ce même fil, il y a, à l'intérieur de l'aimant, une route pour le courant galvanique, sur laquelle l'induction est à son *minimum* de force. Si l'on tourne le cylindre, cette route change en général, et circonscrit, pendant qu'il fait une révolution entière, une surface courbe qui partage en deux le cylindre comme par une section transversale. Le magnétisme libre dans cette surface et la valeur moyenne du magnétisme libre dans une section quelconque du premier cylindre sont entre eux, d'après le résultat de la troisième série, dans le rapport de 7,48 à 16,178; dans le second cylindre, d'après la sixième série, comme 14,40 est à 36,27. En effet, le courant d'induction développé par l'alternative d'un inducteur formé par un tour du fil (courant qui, lorsqu'il se renouvelait chaque seconde dans l'aimant court, y produisait un effet mesuré par 16,178 divisions de l'échelle, et dans le long un effet = 36,27) donne une mesure de la valeur moyenne du magnétisme libre pour toutes les sections transversales du cylindre, tandis que le courant d'induction développé par deux révolutions du cylindre (courant qui, lorsqu'il se renouvelle toutes les secondes, produit dans l'aimant court un effet égal à 7,48, et dans le long un effet égal à 14,40) donne, d'après la sixième loi, une mesure du minimum du magnétisme libre, renfermé dans ces sections transversales courbes, qui sont circonscrites par les diverses routes que suit le courant galvanique dans le cylindre pendant le mouvement rotatoire de ce dernier.

En considérant les résultats de la cinquième ou de la septième série, dans lesquelles l'induction du courant s'est faite à l'extrémité du cylindre, on les trouve (comme nous l'avons déjà dit) presque identiques, soit que le courant galvanique doive parcourir toute la longueur du cylindre, pour arriver du

point où il y entre à celui où il en sort, soit qu'il n'ait pas besoin pour cela de faire tout ce trajet ; c'est-à-dire, en d'autres termes, les deux minima du magnétisme libre renfermé dans les sections courbes, qui sont circonscrites pendant le mouvement du cylindre par les diverses routes que prend le courant galvanique depuis le point de contact de la surface jusqu'au point extrême de l'axe de rotation, ces deux minima ont presque la même valeur ; et cela permet de présumer que le courant galvanique ne passe de la surface à l'axe de rotation qu'à son entrée et à sa sortie, c'est-à-dire aux deux extrémités du cylindre qui sont aimantées d'une manière presque également forte.

Si l'on compare entre eux les résultats de la cinquième et de la sixième série, et qu'on remarque qu'avec des aimants auxiliaires on renforce beaucoup le magnétisme aux extrémités (par où passe le courant) dans la première de ces séries, mais non dans la seconde, on ne sera pas surpris que, dans le premier cas, l'effet mesuré soit presque trois fois plus grand que dans le second, ou, plus exactement, qu'il soit avec celui-ci dans le rapport de 58,10 à 21,05. On remarquera, d'ailleurs, avec intérêt que le premier résultat, 58,10, tout en se rapprochant de celui qui a été obtenu dans la sixième série, savoir 61,70 ne lui est cependant pas égal, quoique les extrémités du cylindre aient été renforcées par des aimants auxiliaires ; ce qui prouve que ce surcroît de force est bien éloigné de rendre le magnétisme de ces extrémités égal à celui du milieu, d'où le courant galvanique était pris dans la sixième série.

3. *Application à la distribution du magnétisme dans le fer doux.*

L'étude de cette distribution a offert jusqu'à présent des difficultés particulières. En effet, le fer ne prend un plus haut degré d'aimantation que lorsqu'il est mis en contact avec un

aimant, ou qu'il en est très-rapproché; mais alors on n'a pas les moyens de distinguer les effets qui sont dus au fer de ceux qui appartiennent immédiatement à l'aimant, d'autant plus que ces derniers ne peuvent pas être regardés comme constants, à cause de la modification que subit l'aimant par la réaction du fer. Or, l'induction unipolaire fournit le moyen dont je viens de parler. En effet, en laissant l'aimant en repos et ne faisant tourner que le fer, on obtient une induction qui ne provient que du magnétisme de ce dernier et réciproquement. Enfin, alors même qu'on les fait tourner l'un et l'autre en même temps, on peut étudier le magnétisme dans la section du fer où il est le plus faible, c'est-à-dire à l'extrémité opposée à l'aimant.

En terminant, j'ajouterai quelques mots pour expliquer le phénomène découvert par Ampère, dont il a été question en commençant. On sait qu'à presque toutes les expériences magnéto-électriques correspondent des contre-expériences électro-magnétiques. L'induction unipolaire appartient à la classe des expériences magnéto-électriques, tandis que le phénomène en question doit être rangé parmi les expériences électro-magnétiques; un examen attentif fait même voir que ce dernier doit être regardé comme la contre-expérience de l'induction unipolaire, et qu'il doit s'expliquer exactement de même que celle-ci, en sorte que l'on peut donner la contre-expérience comme preuve de l'existence des fluides magnétiques et de leur séparation physique. Selon une transformation bien connue en mathématiques, d'après laquelle les lois d'induction se déduisent des lois électro-magnétiques, on peut aisément appliquer à cette contre-expérience les considérations qui précèdent, et il est, ce semble, superflu de s'y arrêter davantage.

DE L'INFLUENCE DU FROTTEMENT SUR LES PHÉNOMÈNES THERMO-ÉLECTRIQUES, par Mr. P. Erman. (*Institut* du 8 octobre 1845, n° 614.)

Dans ce mémoire, Mr. P. Erman examine l'influence que le frottement au point de contact de deux métaux hétérogènes exerce sur l'aiguille du multiplicateur de Nobili combiné avec les métaux. Il récapitule ensuite sommairement l'histoire de cette partie de la physique, et se résume en disant qu'entre les deux extrêmes d'omnipotence et de nullité électriques, qui ont été attribuées au frottement des conducteurs, il s'était efforcé de trouver le terme moyen de la vérité.

Le premier pas que l'auteur ait tenté de faire dans cette carrière, a consisté à entreprendre un grand nombre d'expériences sur différents groupes de métaux, leur température primitive étant rendue égale à celle du milieu ambiant ou bien lui étant supérieure ou inférieure. Ces expériences ont démontré que l'effet d'un semblable frottement est toujours semblable à celui d'une addition de chaleur au point de contact. Ce fait est démontré par différents moyens et entre autres par cette circonstance, que les groupes de métaux qui, par une différence de température, donnent naissance à un courant électrique d'une direction ou d'une faiblesse anomales, agissent semblablement quand on les soumet à un frottement. C'est ce que présentent la galène, le sulfure de molybdène et quelques autres corps. Et c'est par allusion à cet office intermédiaire de la chaleur, que l'auteur appelle l'électricité dynamique produite par le frottement des conducteurs, électricité *tribo-thermique*.

Mais actuellement les merveilles et les paradoxes qui surgissent lorsque les choses sont dans le *status nascendi*, se pré-

sentent d'elles-mêmes de nouveau dans ce cas : mais quand on exerce un effet tribo-thermique, ce n'est ni comme la chaleur conduite, ni comme la chaleur rayonnante. En effet, sa production lorsque le frottement commence, et sa disparition quand le frottement cesse, sont entièrement indépendantes des corps frottants, et presque indépendantes, par conséquent, de la durée du procédé qui la produit.

Mr. Erman fait remarquer que ces faits semblent éminemment favorables à la supposition d'un genre particulier de vibration moléculaire, excitée exclusivement dans les points frottés, et se répandant par le milieu conducteur aussi instantanément que le fait l'électricité.

Il est une circonstance qui se rattache à ce fait, et que Mr. E. considère comme étant de nature à être employée pour la mesure des effets tribo-thermiques, de la même manière que deux points fixes sur nos thermomètres sont employés pour mesurer les températures ; c'est qu'il existe pour un groupe quelconque de métaux thermo-électriques une différence donnée positive, et une différence donnée négative, entre leur température et celle de l'espace environnant, qui, lorsqu'elle existe préalablement au point de contact, fait qu'un frottement continu n'a plus aucune nouvelle influence sur le courant électrique.

Dans une autre partie de son mémoire, Mr. Erman rapporte quelques faits qui se rattachent à la découverte de Mr. Peltier, savoir: que, suivant la direction dans laquelle ce courant chemine, un courant électrique peut aussi bien refroidir que réchauffer le point de contact des métaux hétérogènes. Il examine l'effet du frottement sur le bismuth et l'antimoine dans les quatre cas suivants :

Quand on les chauffe.	Quand ils sont à la température de l'espace environnant.	Quand on les refroidit.
Antimoine.	Bismuth.	
Bismuth.	Antimoine.	
	Bismuth.	Antimoine.
	Antimoine.	Bismuth.

et il trouve que la même action de frottement produit dans ces différents cas, et relativement aux différents métaux, dans une circonstance une acquisition d'électricité accompagnée d'une augmentation de chaleur, et dans une autre une perte de l'électricité avec acquisition de la chaleur, puis soit une perte ou un gain d'électricité uni à une perte de chaleur, et il demande s'il ne serait pas permis d'en conclure que la chaleur naissante possède une propriété spécifiquement différente de celle de la chaleur résidant à l'intérieur du métal. Sommes-nous donc enfin à la veille de trouver quelque chose d'analogue à la belle découverte de Mr. Peltier, savoir : que l'électricité galvanique produit de la chaleur quand elle marche de l'antimoine au bismuth, et du froid quand elle chemine dans une direction opposée, et un froid tel que Mr. Lenz a produit une congélation?

L'objet du mémoire de Mr. Erman a été d'engager les physiciens anglais à s'occuper de cette nouvelle branche (de l'électricité tribo-thermique), et en même temps d'excuser les imperfections du travail présenté par suite des difficultés extrêmes qu'offre un sujet aussi délicat. Parmi ces difficultés il signale en particulier l'influence presque inévitable des réophores hétérogènes qu'il faut unir aux métaux qu'on examine. Cette difficulté lui a fait rejeter complétement la première série de ses expériences, jusqu'au moment où il a trouvé que l'interposition d'une plaque de plombagine pure entre chaque métal et son fil conducteur, était un très-bon moyen pour limiter la production anomale de l'électricité, sans diminuer le pouvoir conducteur du système.

En terminant, Mr. Erman indique une application pratique importante de cette électricité tribo-thermique. Au lieu de l'appareil voltaïque des télégraphes électriques, qui est variable dans ses effets et dispendieux dans son application, et peut, par l'usage, être dérangé et incapable d'agir peut-être dans un moment où l'on en aurait le plus besoin, il propose de substituer ce mode purement mécanique de développer de l'électricité, de

manière à affecter une aiguille magnétique placée à distance, et à transmettre ainsi des signaux. On procéderait à cette application en enlevant simplement une détente à une pièce de mouvement d'horlogerie, et alors un disque de bismuth frottant sur un disque d'antimoine exciterait l'aiguille à distance. L'auteur a déjà essayé cette méthode sur des distances assez considérables.

DES COURANTS ÉLECTRIQUES PRODUITS PAR LES VIBRATIONS DES FILS ET DES TIGES MÉTALLIQUES, par W. SULLIVAN. (*Phil. Mag.*, octobre 1845.)

En lisant un mémoire de Seebeck, dans lequel ce physicien disait que, lorsqu'une barre composée de bismuth et d'antimoine était chauffée à la jonction des deux métaux, la déviation de l'aiguille du galvanomètre était accompagnée d'un son particulier, je pensai que si un tel son était produit par la vibration, il se produisait très-probablement un courant. Quoique je me fusse bientôt assuré que le son qui était produit n'avait aucun rapport avec l'électricité, je n'abandonnai pas l'idée que l'électricité était plus intimement liée avec le mouvement moléculaire qu'on ne le supposait généralement. J'employai la méthode suivante pour m'en assurer. Je pris un morceau de planche parfaitement plane, de deux pieds environ de longueur, et j'y fis tenir à mortaises, deux montants de trois pouces de haut, et placés à dix-huit pouces l'un de l'autre. Je pris ensuite un morceau de fil de laiton n° 15; je le soudai à un bout semblable de fil de fer, et je tendis ce fil ainsi formé par-dessus les montants, de façon qu'il produisît un son musical lorsqu'on le faisait vibrer. Je réunis ensuite les extrémités de ce fil composé à un galvanomètre excessivement délicat, semblable à celui qui a été em-

ployé par Melloni dans ses recherches sur la chaleur rayonnante; quand il fut mis en vibration rapide, une légère déviation de l'aiguille eut lieu, la direction du courant étant du fer au laiton comme cela a lieu dans un circuit thermo-électrique semblable. Les choses ne se passaient pas cependant toujours de cette manière; ce résultat semblait dépendre du genre de vibration, quoique je n'aie pas pu découvrir comment il en dépendait. Ce dont je me suis assuré, c'est que cet effet ne dépend pas d'une production de chaleur, car le courant cessait du moment que cessait la vibration. Je ne parvenais pas toujours à produire une déviation ; et souvent, lorsqu'il y avait un courant produit, cette déviation était à peine appréciable, jusqu'à ce que j'eusse augmenté l'oscillation de l'aiguille du galvanomètre, en interrompant fréquemment le contact. Dans une ou deux occasions j'observai une déviation égale à celle qu'on obtient en chauffant au rouge terne le point de jonction des deux fils. Il semblerait, d'après quelques-unes de mes expériences, que c'était lorsque le fil vibrait d'une manière continue d'une extrémité à l'autre, que l'effet le plus intense était obtenu; mais que l'effet devenait nul lorsque, un nœud étant par une cause quelconque produit au milieu du fil, les deux moitiés vibraient dans des directions opposées. Ce nœud était l'origine de toutes les difficultés que j'éprouvais dans mes expériences, car je ne pouvais toujours savoir lorsqu'il avait lieu.—Comme la quantité d'électricité produite par l'arrangement que je viens de décrire était naturellement très-minime, je voulus augmenter les masses vibrantes. Je pris donc une barre d'antimoine de cinq pouces de longueur, de trois huitièmes de pouce de largeur et d'un quart de pouce d'épaisseur, et je la soudai à une barre semblable de bismuth ; j'attachai aux extrémités de cette barre composée, des fils de cuivre qui communiquaient avec un galvanomètre. J'obtins, en mettant cette barre en vibration au moyen d'un coup frappé avec un morceau de fer, une lime par exemple, j'obtins dis-je des résultats analogues aux premiers ; quel-

quefois j'obtenais des déviations considérables, d'autres fois je n'en apercevais aucune trace ; l'effet semblait toujours dépendre de la manière dont les vibrations se propageaient le long du fil. A tout prendre, les résultats ont été beaucoup plus satisfaisants avec cet appareil qu'avec le précédent ; il m'était possible de discerner la nature des vibrations de chaque barre bien mieux qu'avec les fils, et je le faisais en employant l'ingénieux procédé de Strehlke, qui consiste à placer sur la barre des globules d'eau saupoudrées de lycopodium ; le mouvement des particules de lycopodium montre parfaitement bien la direction des vibrations.

J'essayai d'augmenter la déviation produite dans le galvanomètre par le passage du courant dans un fil conducteur, en faisant vibrer ce dernier ; mais je n'obtins point le résultat satisfaisant auquel je m'attendais. Dans quelques cas la déviation était sensiblement augmentée ; dans d'autres elle paraissait, au contraire, avoir *notablement diminué*. Il est à peine nécessaire de dire que toutes les fois qu'un courant était produit dans le fil en vibration, il agissait sur l'aiguille magnétique comme il l'aurait fait en traversant tout autre conducteur placé dans les mêmes circonstances ; il faut assurément qu'il y ait quelque rapport intime entre le magnétisme et la vibration, puisque, lorsqu'on frappe une barre d'acier avec un marteau de manière à produire un son vibrant, la barre devient magnétique, tandis que si on la frappe avec un objet mou, l'effet produit est très-minime ; on sait aussi que lorsqu'on laisse tomber un aimant sur un corps dur qui le fait vibrer rapidement, il est beaucoup plus endommagé que si aucune vibration n'était produite.

Je ne crois pas que deux métaux soient nécessaires pour la production de l'électricité par vibration ; car, lorsque j'essayai les effets de la vibration sur une barre composée de fer dur cristallin et de fer doux fibreux, j'obtins des résultats qui me conduisent à croire que l'arrangement des particules a bien plus d'influence que leur nature sur la production du phéno-

mène. Cet arrangement produit certainement des effets thermo-électriques bien positifs, ainsi que le fait aussi un fil composé de cuivre cristallin et de cuivre fibreux. Pour avoir toutefois une opinion arrêtée sur ce sujet, il faudrait un appareil beaucoup plus délicat que celui que je possède.

Comme j'étais sur le point de publier les lignes précédentes, j'ai lu le détail des expériences qu'Erman vient de communiquer à la dernière réunion de l'*Association britannique*. Les résultats intéressants qu'il avait obtenus étaient si intimement liés aux miens, que j'ai été conduit à répéter toutes mes propres expériences. Les conséquences en ont été les mêmes, quoique le galvanomètre que j'employais ne fût pas très-sensible, du moins pour des recherches de ce genre. Un des résultats obtenus par Erman coïncide d'une manière remarquable avec un des miens, savoir : « que l'effet tribo-thermique est instantané, et que la déviation disparaît tout aussi instantanément qu'elle est apparue, le retour de l'aiguille à sa position primitive étant une des circonstances les plus frappantes du phénomène ». Erman ajoute que les résultats paraissent être produits plutôt par *un mouvement vibratoire de molécules*, que par une affluence continue du calorique. Dans le fait, c'est le mouvement vibratoire et non la chaleur produite par la friction qui est la seule cause des phénomènes qu'il a observés.

Il y aurait, dans ces recherches, plusieurs points qui mériteraient une investigation plus approfondie ; mais le manque d'appareils convenables m'oblige à y renoncer. J'espère que d'autres qu'Erman lui-même reprendront ce sujet, en y mettant la suite qu'il mérite.

L'effet des mouvements vibratoires sur les corps a jusqu'ici attiré peu d'attention, quoiqu'il doive produire des résultats curieux. Je crois qu'il doit en produire surtout sur des combinaisons chimiques. J'espère pouvoir communiquer sous peu à ce journal le résultat de quelques expériences sur cet ordre de faits. Je mentionnerai une seule de ces expériences dans ce mo-

ment : J'avais vu à Giessen le résultat qu'avaient obtenu MM. Hofmann et Blyth, en chauffant de la styrole [1] à une température de 200° C. dans un tube fermé, température qui convertit cette substance en une masse solide vitreuse, ayant exactement la même composition, et à laquelle ils ont donné le nom de métastyrole. Je pensai que je pourrais peut-être obtenir le même résultat en soumettant pendant plusieurs jours à des vibrations rapides une portion de la même substance renfermée dans un tube. Je préparai une quantité considérable de styrole ; je la renfermai dans un tube de verre très-long et étroit, que je fis vibrer en opérant la friction au moyen d'une étoffe humide, fixée à un petit mécanisme mis en mouvement par un ressort qui allait trente-six heures. Au bout de ce temps, la presque totalité de la styrole était devenue solide ; la distillation la rendit liquide. Le tube qui contenait la substance se brisa malheureusement au moment où j'allais répéter l'expérience. J'espère cependant pouvoir la répéter dans peu de temps.

Dublin, 12 *août* 1845.

OBSERVATIONS SUR LES RECHERCHES DE MM. ERMAN ET SULLIVAN, par Mr. le professeur DE LA RIVE.

Les expériences de MM. Erman et Sullivan, tout en montrant que les vibrations dans un fil métallique peuvent y faire naître un courant électrique, ne sont point contraires à l'idée que la chaleur est au fond la cause de ce dégagement d'électricité. Je n'entends point par là la chaleur qui est développée

[1] La *styrole* est une huile liquide qu'on extrait du storax liquide, espèce de baume qui est assez répandue dans le commerce, et dont l'origine n'est pas encore bien déterminée. (R)

aux points où a lieu le frottement qui détermine les vibrations, mais la chaleur qui doit être dégagée par l'effet même des vibrations dans l'intérieur de la masse métallique. Cette chaleur, qui dans les gaz exerce une si grande influence sur la vitesse de la transmission du son, ne peut pas être nulle dans les corps solides, et surtout elle peut bien produire quelque effet sensible, vu le peu de chaleur spécifique de ces corps. Or les effets observés sont très-faibles, ils sont instantanés, commencent et cessent immédiatement avec les vibrations, circonstances toutes favorables à l'explication qui précède. On conçoit que cette élévation de température, insensible au thermomètre à cause de son instantanéité et de son peu d'intensité, puisse être accusée par la production instantanée d'un courant électrique qui naît et disparaît avec elle.

En résumé, je ne nie point que les vibrations puissent par elles-mêmes produire un courant électrique ; mais je crois, en même temps, que les expériences décrites dans les deux notices qui précèdent peuvent aussi bien s'expliquer, si on attribue à la chaleur produite par les vibrations les courants électriques observés.

SUR UNE NOUVELLE MÉTHODE POUR GUÉRIR CERTAINS ANÉVRISMES, SANS OPÉRATION, A L'AIDE DE LA GALVANO-PUNCTURE, par Mr. Is. PETREQUIN, chirurgien en chef de l'Hôtel-Dieu de Lyon. (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, du 3 novembre 1845.) Extrait.

Ce serait certainement une grande conquête que la curabilité des anévrismes sans opération sanglante ; c'est à juste titre qu'on les range parmi les maladies les plus graves du cadre nosologique. En effet, si on les abandonne à eux-mêmes, la mort,

à quelques rares exceptions près, en est la terminaison habituelle; si le chirurgien en entreprend la cure, les accidents les plus fâcheux peuvent accompagner ses tentatives; et, non-seulement elle peut ne pas guérir, mais encore il arrive plus d'une fois qu'elle occasionne ou accélère la mort du malade.

On avait proposé l'application de l'électricité; mais ce projet n'a pas eu de suites, et tout ce qu'on trouve à cet égard dans la science se résume dans les lignes suivantes qu'écrivaient MM. Marjolin et Bérard en 1833 : « On a imaginé de provoquer la coagulation du sang dans le sac, à l'aide de l'électricité qui y serait transmise par des aiguilles plongées dans la tumeur; *cette idée*, qui est due à Mr. Pravas, *n'a point encore*, à notre connaissance, *été mise à exécution.* » (Dict. en 25 vol., article *Anévrisme*, t. III, p. 50). Pour nous assurer de la chose, nous nous sommes adressé à Mr. Pravas lui-même, qui nous a appris qu'en effet c'était là une vue spéculative, une induction que lui avaient inspirées ses recherches sur la rage, mais que jamais l'expérience n'en avait été faite pour les anévrismes, ni sur les animaux ni sur l'homme.

C'était donc une voie tout à fait abandonnée et un moyen entièrement oublié. Toutefois, avant d'en rechercher un autre, je voulus savoir à quoi m'en tenir sur celui-là, et m'assurer s'il était réellement sans valeur. J'expérimentai d'abord, non sur les animaux dont le fluide sanguin a des propriétés si différentes, mais sur du sang humain au moment où il venait d'être tiré de la veine par une saignée. L'expérience me donna beaucoup d'espoir; je pensai que c'était une question nouvelle à résoudre, et je me mis à l'œuvre. Pour faire connaître mes résultats, je diviserai les anévrismes en deux catégories.

Anévrisme traumatique de l'artère temporale. Guérison en une seule séance par la galvano-puncture.—Le 4 août 1845, le sieur Dasnyard, âgé de 19 ans, serrurier à Lyon, fut apporté sans connaissance à l'hôpital. Il venait de tomber d'un deuxième étage. Il y avait une forte ecchymose de l'œil gauche, et une

fracture de la mâchoire inférieure sur la ligne médiane. Vers la fin du traitement, il fut pris de la variole qui parcourut ses périodes régulièrement. Le 9 septembre, je pus m'occuper spécialement d'une petite tumeur de la tempe gauche qui avait fixé mon attention. C'était un anévrisme traumatique de l'artère temporale, du volume d'une amande, d'une consistance molle et peu sensible à la pression des doigts. La tumeur est sur le trajet de l'artère temporale qu'on, peut suivre jusqu'à son niveau ; elle est le siége de battements isochrones à ceux du pouls, qui sont visibles à travers la peau, et qui cessent sous l'influence d'une pression forte au-dessous, pour reparaître lorsqu'on enlève le doigt qui comprime. Il n'y avait aucun doute sur la nature du mal. Il était probable que cet anévrisme était dû à la contusion de l'artère qui eut lieu lors de la chute.

Le 10 septembre, je fis une séance de galvano-puncture en présence de plusieurs médecins et d'une foule d'élèves. Je pris deux épingles en acier, fines et acérées, et je les enfonçai de manière à les croiser à angle droit dans la tumeur, où elles pénétrèrent d'environ 2 centimètres. Je fis communiquer leurs têtes avec les pôles d'une pile. Au premier contact, il eut une secousse électrique et une douleur vive, et ces symptômes allèrent croissant, à mesure que j'augmentai la dose de galvanisme ; leur intensité devint très-grande au quinzième couple, et je suspendis la séance ; la durée de l'opération proprement dite, c'est-à-dire de l'action réelle de la galvano-puncture, avait été de 10 à 12 minutes environ. J'avais trois fois changé la direction des courants galvaniques pendant cet espace de temps.

Durant la manœuvre, je sentis les pulsations diminuer progressivement; mais, de crainte de me tromper, je pris soin de faire aussi constater le prénomène par les docteurs Gerin et Rambaud, qui assistaient à l'expérience ; le fait était réel : ce ne fut pas sans nne profonde satisfaction que je reconnus que les battements avaient complétement cessé à la fin de la séance. L'anévrisme, à pulsations isochrones, était remplacé par une

tumeur solide et indurée. Le problème était résolu. J'enlevai les épingles, et le pansement consista en compresses d'eau blanche, maintenues avec des doloires de bandes.

Le malade, qui avait été ému, était pâle et un peu abattu; il se leva et retourna seul à son lit. Deux heures après, il ne souffrait plus, et, dans l'après-midi, il mangea comme à son ordinaire. (L'observation fut relevée avec soin, jour par jour, par Mr. Baumers, interne du service.) Il ne survint aucun accident.

Le 12, nous examinâmes le malade très-attentivement. La tumeur n'existait plus; on n'y sentait pas la moindre pulsation; l'artère temporale était également oblitérée au-dessus, car on n'y trouvait point de battements, tandis qu'ils étaient très-sensibles dans les points de son parcours inférieurs à l'anévrisme.

On l'examina de nouveau tous les deux jours jusqu'à son départ de l'hôpital, qui eut lieu le 20 septembre. Le noyau qui avait succédé à la tumeur s'était peu à peu résorbé; il ne faisait plus relief à la peau. Il n'y avait ni battements ni douleur. Ce résultat fut également constaté par Mr. Bouchacourt. La guérison était achevée.

L'opéré revint me voir huit jours plus tard; la cure ne s'était pas démentie.

Anévrisme de l'artère ophthalmique et de l'origine de ses branches avec exophtalmie; galvano-puncture. — Un jeune homme des environs de Genève fit une chute sur le front, et, environ trois mois après, il s'aperçut d'une tumeur dans l'orbite qui offrait tous les caractères d'un anévrisme; pulsations isochrones au pouls; bruit de souffle, etc. Le mal empirant toujours, je pratiquai la ligature de l'artère carotide primitive qui eut une apparence momentanée de succès. Les battements reparurent dès la deuxième semaine; j'appliquai alors la galvanopuncture; mais cette expérimentation eut le grand inconvénient d'être la première de mes tentatives dans l'ordre chronologique, et nous n'eûmes qu'un espoir de peu de durée.

Malgré les soins que j'y avais apportés, le procédé opératoire laissait encore beaucoup à désirer.

Anévrisme du pli du coude, suite de saignée; galvano-puncture. —Un homme adulte me fut adressé des environs de Rive-de-Gier, pour un anévrisme assez volumineux de l'artère brachiale droite, consécutif à une saignée mal faite. Je fis une séance de galvano-puncture qui rendit la tumeur plus compacte; pour favoriser la coagulation complète, j'appliquai la compression à demeure sur le bras, et je laissai en outre les deux aiguilles dans la tumeur, mais il se fatigua bien vite de la compression, qu'il fallut enlever; l'acupuncture simple fut insuffisante, et il se refusa obstinément à une deuxième séance galvanique, qui eût peut-être réussi. Indocile et pusillanime, il n'eut pas le courage de subir une nouvelle épreuve, malgré tout ce qu'on s'empressa de lui dire.

Nous allons voir maintenant quelles sont les diverses conditions du problème pour triompher des obstacles que présentent les sacs anévrismatiques d'un certain volume.

Du procédé opératoire. — La première indication est de modifier la circulation dans les vaisseaux afférents, sans quoi la colonne sanguine emporterait le caillot à mesure qu'il se produirait. Toutefois, dans l'observation première, où je voulais m'assurer de la possibilité du fait en lui-même, je n'appliquai aucune compression sur l'artère, et je réussis; mais cette précaution est indispensable quand on a affaire à un calibre artériel plus considérable; il sera même utile d'intercepter, par la compression, toutes les communications environnantes.

Dans le sac, le sang doit être stagnant et immobile; autant que possible le malade sera couché ou assis fixement dans un fauteuil. Dans mes expériences à découvert sur le sang, on voyait le caillot se former autour des épingles et seulement lorsqu'elles étaient en contact; le phénomène était actif quand on les plaçait en croix; la conséquence est donc qu'il convient d'imiter cette disposition, et qu'il faudra multiplier les sources

du caillot quand le sac anévrismatique sera assez volumineux, de manière que les noyaux, formés en divers sens et en plusieurs points, finissent aisément par se confondre en un coagulum commun. Après l'opération, on pourra appliquer la glace sur le foyer, et continuer la compression alentour s'il est possible.

Je me suis servi d'aiguilles à acupuncture en acier : l'expérience directe sur le sang à découvert m'a fait voir que celle qui correspond à un pôle doit, pour mieux agir, se croiser avec l'aiguille qui répond au pôle opposé, et que, dans les sacs anévrismatiques volumineux, il faudra les multiplier pour produire d'emblée un bon nombre de caillots, afin d'offrir une charpente suffisante pour le coagulum commun. Il y avait un double écueil : en pénétrant jusqu'au foyer sanguin, les aiguilles brûlent la peau, irritent les nerfs, causent de vives douleurs en pure perte, et font une déperdition fâcheuse d'électricité ; de là une réaction inflammatoire défavorable et le défaut d'efficacité : il fallait donc les isoler dans les tissus ; j'y ai réussi à l'aide d'une couche de vernis dans l'étendue de 1 à 2 centimètres, suivant l'épaisseur des parties molles à traverser.

Pour reconduire à volonté les fils de cuivre représentant les pôles, on les tenait à la main. Je les isolai en les enveloppant, ainsi que le bout de mes doigts, avec un morceau d'étoffe de soie. Il convient, pour mieux coaguler le sang, de débuter tout de suite par un certain nombre de couples, et de procéder par progressions rapides si les premiers effets sont incomplets. On peut avec avantage changer plusieurs fois la direction des courants galvaniques. Il ne faut pas trop fortement aiguiser l'eau de la pile avec les acides nitrique et chlorhydrique, elle ronge les métaux, et l'action électrique va bientôt languissant ; elle ne doit pas être non plus trop faible, sans quoi elle ne coagulerait pas le fluide sanguin.

C'est avec ces règles que j'ai pu réaliser avec succès la première application qui ait encore été faite, sur l'homme, de la galvano-puncture à la guérison des anévrismes.

NOUVELLES EXPÉRIENCES SUR LA TORPILLE; lettre de Mr. C. MATTEUCCI à Mr. de Blainville. (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, du 8 septembre 1845.)

L'intérêt que vous avez toujours montré pour mes travaux d'électricité animale, me fait espérer que l'Académie m'excusera de venir encore lui parler de la torpille. J'ai eu occasion dernièrement d'avoir un certain nombre de torpilles vivantes, et je n'ai pas manqué de faire quelques essais dont je vais vous rendre compte. Quoique j'aie bien établi, par un très-grand nombre d'expériences, que la décharge de la torpille n'a jamais lieu qu'à travers un arc conducteur, établi entre le dos et le bas-ventre, je vois toujours, et principalement dans quelques ouvrages allemands, qu'on parle de la possibilité d'avoir la décharge de la torpille en la touchant simplement dans un point quelconque du dos ou du bas-ventre avec un corps conducteur, le poisson étant isolé. J'ai donc employé encore tous mes soins pour mettre le résultat auquel j'étais parvenu hors de toute espèce de doute. Je commence par isoler parfaitement la torpille vivante, et je prépare un certain nombre de grenouilles plastiques; j'en mets plusieurs avec leurs nerfs sur le dos de la torpille. Je place d'autres grenouilles galvanoscopiques sur une lame de verre parfaitement vernie et soutenue sur un pied isolant. Les nerfs des grenouilles ainsi isolées viennent toucher le dos de la torpille. En irritant la torpille, on ne tarde pas à avoir la décharge; les grenouilles qui sont couchées sur la torpille se contractent, tandis qu'il n'y a pas le moindre mouvement dans celles qui sont isolées, et qui pourtant touchent la torpille avec leurs nerfs. Il n'y a qu'à toucher ces grenouilles avec la main ou avec un corps quelconque, qui communique

avec le sol, pour voir à l'instant ces grenouilles se contracter lorsque la torpille se décharge. Ce n'est que quand les nerfs des grenouilles isolées sont étendus sur une grande portion de l'organe de la torpille, qu'on voit quelques contractions dans ces grenouilles isolées. J'ai déjà démontré qu'on peut obtenir un courant électrique en réunissant avec un arc conducteur deux points différents de la même surface de l'organe.

Il est donc bien prouvé que la décharge de la torpille se fait toujours à travers un arc conducteur, qui touche à la fois avec ses extrémités la face verticale et la face dorsale de l'animal. J'ai étudié de nouveau la direction et l'intensité du courant électrique de la torpille, après avoir coupé l'organe normalement aux prismes qui le composent. J'ai coupé l'organe à peu près à la moitié de son épaisseur; la torpille était parfaitement isolée, et la portion supérieure de l'organe était soutenue avec des crochets et des cordons de soie. De cette manière, je pouvais agir avec les extrémités du galvanomètre, tantôt sur la moitié dorsale, tantôt sur la moitié ventrale de l'organe. Voici les résultats de deux expériences : le courant de la partie dorsale a été, dans un cas, de 34 degrés, dans l'autre, de 35 degrés, toujours dirigé du dos à la face interne, comme à l'ordinaire ; le courant de la portion centrale a été, dans un cas, de 3 degrés, dans l'autre, de 4 degrés, et dirigé, comme à l'ordinaire, de la face interne à la face ventrale dans le galvanomètre. J'ai laissé les deux moitiés de l'organe en contact, et j'ai fermé le circuit en appliquant les deux extrémités du galvanomètre sur les deux faces du poisson ; dans ce cas, c'était bien tout l'organe qui donnait la décharge. L'intensité du courant a été 40 degrés dans la première expérience, et 45 degrés dans la seconde. Ces trois expériences furent répétées, sur la même torpille, en opérant le plus vite possible. La grande intensité du courant de la portion dorsale, comparativement à celui de la portion ventrale, me semble devoir s'expliquer par le plus grand nombre de filaments nerveux qui se ramifient dans

cette portion. Il résulte de ces expériences que, bien que l'organe ait été coupé à moitié, la décharge qu'on obtient, quand les deux portions se touchent, est bien celle de l'organe tout entier. C'est là une expérience qui démontre que chaque prisme, qui compose l'organe de la torpille, est un appareil multiplicateur, dont les différentes parties peuvent fonctionner séparément, ou ensemble, en donnant en ce cas des effets plus forts qui sont presque la somme des actions des différentes parties. J'ai cru de quelque intérêt de comparer la durée de l'excitabilité des nerfs moteurs avec celle des nerfs qui sont à l'organe électrique. J'ai vu plusieurs torpilles, desquelles on ne parvenait plus à obtenir de contractions musculaires en irritant la moelle épinière, donner encore la décharge électrique quand on irritait le quatrième lobe ou les nerfs qui vont à l'organe. La sensibilité des nerfs électriques est encore mieux démontrée lorsqu'on agit sur l'organe de la torpille, séparé depuis quelque temps de l'animal.

C'est une expérience que j'ai faite bien des fois, et que je crois toujours très-importante. Sur un organe d'une torpille séparé depuis longtemps de l'animal, on voit toujours les grenouilles galvanoscopiques se contracter, lorsqu'on irrite d'une manière quelconque les petits filaments qui se ramifient dans l'organe. On voit, en faisant cette expérience avec soin, la décharge se limiter à de très-petites parties de l'organe, celles dans lesquelles on voit se perdre le filament nerveux qu'on irrite. Il y a une manière très-simple de faire ces expériences, c'est de couvrir la surface de l'organe avec le plus grand nombre possible de grenouilles galvanoscopiques.

On voit alors une de ces grenouilles se contracter, tandis qu'une autre à côté ne bouge pas. On démontre aussi, dans ces expériences, que les nerfs de l'organe électrique ont, comme les nerfs moteurs, la propriété de perdre leur sensibilité, en commençant des parties centrales, et en se retirant vers les extrémités. Lorsqu'en irritant ces nerfs dans des points rappro-

chés du cerveau, on n'obtient plus la décharge, on peut l'obtenir encore si l'on irrite des points de ces mêmes nerfs qui sont plus près de leurs extrémités.

Je n'ai pas manqué de répéter mes anciennes expériences relatives à l'action du courant électrique sur les nerfs de l'organe. Je n'ai rien à changer à mes premiers résultats : toujours est-il que le courant électrique excite la décharge, lorsqu'il commence à passer étant direct, et quand il cesse étant inverse. C'est l'action du courant électrique sur les nerfs qu'on appelle mixtes, et qui est différente de celle que nous avons trouvée, Mr. Longet et moi, en agissant sur les nerfs simples au moteurs.

Il faut encore remarquer, comme étant même la seule différence trouvée entre la contraction musculaire et la décharge de poissons électriques, que la potasse appliquée sur les nerfs électriques, ne donne pas lieu à la décharge. Voilà les faits nouveaux que j'ai trouvés dernièrement, et qui serviront quelque jour pour établir la théorie physique de l'organe de la torpille.

En attendant, je ne puis pas m'empêcher d'insister sur les conséquences principales auxquelles je suis conduit par le grand nombre d'expériences que j'ai faites depuis si longtemps sur la torpille : 1° La cellule qui compose les prismes de l'organe des poissons électriques est bien l'organe électrique élémentaire, qui n'exige pour fonctionner que l'excitation du filament nerveux qui lui appartient, et l'intégrité chimique de la substance albumineuse qu'elle contient. 2° Ces prismes sont des appareils physiques, destinés, comme les aimants, les piles, les spirales électro-dynamiques, à multiplier l'effet des parties élémentaires de ces organes. De là toute l'importance de la remarque que j'ai faite depuis quelque temps, de la position de deux pôles de l'organe électrique dans la torpille et dans le gymnote. Dans la torpille, les prismes de l'organe ont leurs bases appuyées sur les faces ventrale et dorsale du poisson, et ces deux faces sont aussi les extrémités électriques de l'organe. Dans le gymnote, les ex-

trémités des prismes, au contraire, sont appuyées vers la queue et la tête de l'anguille, et de même les extrémités électriques sont la queue et la tête. Je désire depuis longtemps qu'un silure tombe entre les mains d'un physicien pour bien étudier la direction du courant en comparaison de celle des prismes de l'organe. 3° Quant à la direction constante de la décharge des poissons électriques, il me semble qu'on peut la concevoir de la manière suivante : certainement, les nerfs de l'organe électrique sont, comme tous les nerfs doués d'un pouvoir spécifique, propres à propager les courants de la force nerveuse (quelle que soit la nature de cette force) dans un seul sens. C'est aussi ce que nous savons avoir lieu pour les nerfs des sens, pour les racines de la moelle épinière, etc.

Quelle que soit la relation intime entre l'électricité et la force nerveuse, il est certain que la fonction de la torpille nous dévoile le fait, peut-être simple, du dégagement de l'électricité dans certaines conditions, déterminées par un courant nerveux.

Appelons, si nous voulons, ce fait simple *induction électro-nerveuse* ; il en résultera toujours, suivant toutes les analogies de la physique, que la direction du courant électrique développé par induction du courant nerveux sera toujours dans un sens constant et déterminé par rapport à la direction du même courant nerveux. Or, l'expérience nous prouve que cette direction dans la force qui agit dans les nerfs existe bien, puisqu'il y a des nerfs simplement moteurs, d'autres sensitifs.

Je ne pousserai pas plus loin les hypothèses, m'étant fait une loi rigoureuse de suivre la marche simple et sûre des faits dans cette partie si obscure de la physique.

EXPÉRIENCES SUR LE GYMNOTE ÉLECTRIQUE, par MM. D. DE MIRANDA et G.-M. PACI. (*Communiqué au Congrès scientifique de Naples* de septembre 1845.)

Le gymnote sur lequel les expériences suivantes ont été faites, est arrivé de Rio-Janeiro à Naples le 15 août 1844. Il est placé dans une grande auge de métal remplie d'eau ; sa nourriture se compose de grenouilles et de petits poissons ; lorsqu'il veut manger par exemple une grenouille, il se dirige sur elle, et, parvenu à la distance d'environ un pied, il s'arrête en la regardant ; elle devient immobile, et pour ainsi dire paralysée, jusqu'à ce qu'elle se laisse aller sans mouvement dans l'eau ; le gymnote s'en saisit alors et s'en nourrit.

Il est à remarquer que cet effet se produit sur une seule grenouille parmi toutes celles qui nagent autour du gymnote, et ce n'est pas toujours sur celle qui est la plus rapprochée de lui.

On a aussi vu parfois le gymnote agir comme le décrit Williamson, c'est-à-dire tuer les grenouilles ou les poissons comme avec indifférence, et sans en faire ensuite sa nourriture. Ce fait semblerait indiquer que l'animal a uniquement pour but, dans certains cas, de décharger son électricité lorsqu'il en sent le besoin.

A l'époque de la saison froide, le gymnote a été transporté dans une auge de bois placée dans une des chambres des appartements royaux. Cette pièce, quoique exposée au midi, n'a été ouverte pendant l'hiver que rarement, et durant le peu d'instants nécessaires pour le renouvellement de l'air.

L'eau dans laquelle l'animal vit naturellement est limoneuse. Pour chercher à reproduire cette circonstance, on ne change complétement l'eau de l'auge que tous les quinze jours ; dans

l'intervalle on la renouvelle en partie avec de l'eau naturelle et chaude ; grâce à ces précautions, le gymnote qui est originaire d'un climat très-chaud, et qui est habitué à vivre dans une eau à 26° centigrades, a passé un hiver facilement dans un bain tempéré de 22° à 24°, et dans une atmosphère de 24° à 25°. Il a acquis la longueur de 3 pieds 4 pouces. Les plus grands gymnotes que Humboldt ait observés à Cano de Bera dans l'Amérique méridionale, étaient de 5 pieds 3 pouces (1^{m},70).

Notre attention s'est d'abord portée sur le phénomène de la secousse. La secousse se fait sentir plus fortement lorsqu'on touche l'animal avec les deux mains sur deux parties différentes de son corps ; dans ce cas on la sent dans les bras et dans la poitrine, qui forment un arc de communication ; mais on l'éprouve cependant encore lors même qu'on ne touche l'animal que d'une seule main ; on la sent alors dans le bras qui est en contact avec l'animal, et dans les articulations correspondantes ; la décharge traverse les membres, le sol et l'eau du bain. Si l'on forme une chaîne de plusieurs personnes, elles ressentent toutes la secousse en même temps, quelle que soit la manière dont on obtient la décharge, c'est-à-dire, soit que la première et la dernière personne de la chaîne touchent l'animal en même temps, soit qu'une seule personne se mette en contact avec lui ; nous avons vu dans ce dernier cas la secousse se communiquer à quatre personnes. Deux personnes ayant ensuite touché le gymnote, l'une vers la tête et l'autre vers la queue, l'une d'elles seulement, celle qui touchait la queue, sentit la secousse ; une autre fois ce fut la personne qui touchait la tête ; d'autres fois enfin toutes deux la sentirent, et plus forte à ce qu'il leur parut que lorsque chacune d'elles avait été seule à la sentir.

Le gymnote ne fait pas sentir la secousse chaque fois qu'on le touche ; il faut quelquefois, pour l'obtenir, irriter l'animal, le comprimer même, surtout près de l'organe électrique, fait qui prouve que, ainsi que l'a dit Bancroft, son appareil électromoteur ne se met en action que par le concours de sa propre

volonté. Quelquefois, lorsqu'on l'a irrité, les secousses qu'il donne sont si énergiques qu'elles surpassent celles des plus fortes piles, et que ceux qui les ont reçues en ressentent quelque temps les effets ; elles deviennent réellement pénibles lorsqu'on vient à les réitérer. On comprend qu'elles sont plus ou moins énergiques selon le degré de vigueur et d'excitation de l'animal ; elles sont aussi plus intenses avant ses repas que lorsqu'il a mangé ; leur intensité diminue à mesure que l'animal s'épuise ; aussi faut-il, lorsqu'on l'a excité quelque temps, le laisser reposer pour qu'il répare ses forces.

On dirait que le gymnote est doué d'un sens occulte, qui l'avertit du degré de vigueur de la personne ou de l'animal qui doit recevoir la secousse, de manière qu'il y conforme l'intensité de sa décharge. Ce fait s'accorde avec les observations de Humboldt, qui dit que les gymnotes savent choisir dans les grands animaux l'endroit particulier qui doit être le plus sensible à la secousse.

Un manœuvre de la maison du roi, souffrant d'une douleur très-vive à l'épaule et au bras droit, à la suite d'une chute, et étant devenu presque incapable d'aucun service, fut entièrement rétabli après avoir reçu trois ou quatre secousses de force moyenne. Il en fut de même d'un domestique des appartements royaux, qui était malade d'une affection rhumatismale.

Lorsqu'on transporte le gymnote dans une petite cuve dont l'eau est amenée peu à peu à 28° centigrades, les secousses qu'il donne sont d'autant plus fortes et plus fréquentes que la température de l'eau s'accroît davantage, fait qui confirme le récit des voyageurs sur l'intensité plus grande des phénomènes produits par ce poisson dans son pays natal et dans un climat plus chaud. Nous ne dirons cependant pas avec Becquerel qu'il y a de l'analogie entre l'action calorifique sur la décharge électro-animale et les phénomènes de la phosphorescence ; nous dirions plutôt, avec le professeur Matteucci de Pise, que la plus grande activité de la respiration et la circulation de l'animal qui

vit dans l'eau chaude influe directement sur le système nerveux et de là sur la fonction électrique.

La grenouille préparée se contracte fortement lorsque le gymnote se décharge même dans une grande masse d'eau, et à une distance considérable. C'est par un effet semblable que l'animal se rend maître des poissons dont il fait sa nourriture. Nous avons observé plus d'une fois le fait suivant : lorsqu'on tenait à la main un poisson, et qu'on le faisait mouvoir lentement à travers l'eau pour que le gymnote le suivît, celui-ci, lorsqu'il était las de ce manége, déchargeait sa secousse et se saisissait du poisson qu'on était forcé de lâcher à cause de la force de la secousse.

Nous avons fréquemment reçu des secousses en touchant l'animal avec une petite tige métallique. Il s'est cependant trouvé des personnes qui n'en ont point senti lorsqu'elles tenaient la tige par une extrémité, et qu'elles irritaient même l'animal avec l'autre. Nous avons fait les mêmes observations en isolant le poisson. Ces faits confirmeraient l'opinion que celui-ci est averti par un sens intime de la possibilité ou de l'impossibilité de la circulation électrique ; lorsqu'il sent qu'elle est impossible il ne lâche pas sa décharge, quelque provoqué qu'il puisse être d'ailleurs, ou, s'il en fait la tentative, elle se réduit à un léger phénomène de tension. Ces faits seraient également d'accord avec l'observation que la décharge est proportionnée au degré de sensibilité de l'individu qui la reçoit.

Musschenbrœk a, le premier, fourni un argument solide pour prouver la nature électrique de ces secousses, en montrant qu'il n'y avait pas de décharge lorsqu'on touchait les poissons d'où elles provenaient avec des corps non conducteurs. Walsh, Ingenhouss et Fahlberg ont les premiers obtenu l'étincelle électrique du gymnote, en interrompant la chaîne conductrice avec deux petites feuilles d'or placées sur du verre, à la distance d'une ligne l'une de l'autre. Mais nous l'avons obtenue d'une manière bien plus brillante et plus décisive. L'appareil que nous

avons employé était un petit tube de verre recourbé, dont les deux branches étaient égales, et qui était rempli de mercure dans la partie coudée ; nous avons fixé à chaque extrémité un long rhéophore de cuivre recouvert de soie, dont l'un des bouts descendait dans chaque tube jusqu'à une ligne du mercure. Les extrémités opposées de ces fils aboutissaient à deux de ces manches à poignées de bois, munies d'éponges, qui sont particulièrement employées dans les expériences médicales faites avec le grand appareil magnéto-électrique de Clarke. En stimulant le gymnote avec l'éponge sur le dos et sur l'abdomen, dans des points correspondant à l'organe électrique, et en opérant dans l'obscurité, nous avons vu briller la lumière électrique sur la surface du mercure que nous agitions doucement. Lorsque nous avons introduit dans le circuit l'hélice multiplicatrice de Henry, les étincelles ont été plus grandes et plus brillantes.

Quand nous avons interposé dans le circuit une hélice qui avait à son intérieur une aiguille d'acier non magnétique, cette aiguille s'est trouvée magnétisée après quelques décharges. Ce fait est d'accord avec celui que Faraday a observé à Londres sur le même poisson en 1839, et que les professeurs Configliacchi, Barlocci et Linari avaient observé précédemment en Italie avec le courant ichthyo-chimique de la torpille.

L'expérience faite par Schœnbein et Faraday pour décomposer par l'électricité du gymnote l'iodure de potassium, nous a engagés à mettre en communication avec les rhéophores ci-dessus indiqués, le grand appareil de Clarke pour la décomposition des sels. Nous avons obtenu non-seulement la décomposition de l'iodure de potassium, mais celle du nitrate d'argent et de l'acétate de plomb. Les deux extrémités libres des rhéophores se terminaient par des pointes de platine ; celles-ci étaient plongées dans une capsule de porcelaine contenant la solution de nitrate d'argent ; la décomposition du sel ne tardait pas à s'opérer.

Nous avons de même reproduit avec le gymnote les teintes

uniformes de Nobili et les anneaux colorés de Newton, que Linari avait obtenus par les décharges électriques de la torpille.

Davy et Linari ont été les premiers à découvrir le pouvoir calorifique des courants *ichthyo-électriques*, le premier en employant l'électromètre de Harris, le second en se servant du thermomètre de Bréguet. Dans les expériences faites sur le gymnote de Londres en 1839, Schœnbein avait tenté de découvrir l'augmentation de température avec l'appareil thermo-électrique de Snow-Harris ; mais cet appareil s'étant dérangé, il ne put continuer l'expérience. Toutefois Faraday avait cru apercevoir quelque indice de chaleur dans les courants du gymnote ; cela nous a engagés à renouveler l'expérience avec le thermo-multiplicateur de Melloni. Nous avons uni un fil d'argent très-mince par ses deux extrémités à deux fils conducteurs ; la chaleur produite par le passage du courant ichthyo-électrique n'a pas été suffisante pour rougir le fil ; mais elle l'a chauffé suffisamment pour que les déviations du galvanomètre thermo-électrique se manifestassent promptement.

Walsh et d'autres physiciens après lui, ont échoué dans leurs tentatives pour observer si l'électricité des poissons présentait quelque phénomène de tension. Linari a cependant obtenu en 1836, dans les feuilles d'or de l'électromètre condensateur, des signes évidents de tension positive et négative, selon que le conducteur communiquait avec le dos ou avec le ventre de la torpille au moment de la contraction. Quant à nous, nous n'avons pu obtenir avec le gymnote aucun phénomène quelconque de tension électrique, ni avec l'électroscope de Synger, ni avec celui de Bohnenberger, ni avec l'instrument plus récent de Perego.

Il n'en a pas été de même des déviations galvanométriques ; nous avons vérifié sur le gymnote de Naples les faits qui avaient été observés sur celui de Londres par Schœnbein et Faraday, et sur la torpille par Blainville, Flourens, Barlocci, Linari, Matteucci, Zantedeschi et Prudente. Nous avons souvent obtenu des déviations de plus de 90°, qui ne pouvaient se mesurer par

l'appareil multiplicateur. L'aiguille déviait brusquement, comme si elle eût reçu l'impulsion d'un choc mécanique. L'action était intense au point d'altérer les aiguilles du galvanomètre, de façon à les rendre impropres à d'autres expériences. Ce même fait est arrivé à Linari, à Zantedeschi et à Prudente, avec le courant de la torpille. Mieux informés qu'eux, nous avons employé avec avantage le galvanomètre universel de Majocchi ; nous avons eu également l'occasion de vérifier le phénomène observé par Zantedeschi, savoir qu'il n'est pas nécessaire de mettre les conducteurs en contact avec l'animal, mais qu'il suffit de les plonger dans l'eau même à la distance de quelques pouces du gymnote, pour obtenir une déviation considérable au moment de la décharge. On obtient aussi ce même résultat avec un circuit fermé, en plaçant les mains sur le dos et sur le ventre du gymnote. Serait-ce là un effet de la grande effusion de l'électricité observée par Schilling et ensuite par Walsh, sur le gymnote, et observée aussi par Matteucci et Zantedeschi sur la torpille ?

Linari a obtenu, depuis 1836, les phénomènes d'induction les plus distincts à l'aide des décharges électriques de la torpille. L'appareil qu'il employait n'était qu'un système de deux hélices et de trois cadres multiplicateurs et concentriques. L'hélice intérieure était électro-magnétique ; l'extérieure était simplement en spirale. Les extrémités de tous les fils qui formaient les hélices et les multiplicateurs, étaient réunies métalliquement des deux côtés des hélices et des cadres. Elles formaient ainsi les extrémités d'un seul fil en hélice, dont la grosseur était égale à la somme de tous les fils. Linari obtint les déviations galvanométriques, la magnétisation et l'étincelle d'induction au moyen de cet appareil, qui n'était, on le voit, autre chose qu'une spirale électro-magnéto-dynamique, soit un grand solénoïde. Une disposition semblable nous a donné avec le gymnote les mêmes résultats, c'est-à-dire indication du multiplicateur et faible aimantation des aiguilles. Si nous avions excité davantage l'ani-

mal, nous aurions également obtenu l'étincelle. Lorsque nous avons mis en communication le dos et l'abdomen du gymnote avec la machine électro-magnétique de Callan, nous avons aussitôt obtenu une secousse très-sensible par le courant induit.

Nous avons vérifié, par les déviations galvanométriques et par les actions chimiques, une loi découverte par Breschet et Becquerel, et confirmée par Matteucci, mais qui est opposée aux opinions de Davy et de Walsh, savoir, que tous les points de la partie dorsale de l'organe sont positifs relativement à ceux de la partie abdominale [1]. Nous avons également vérifié le fait signalé en 1839 à Londres par Faraday et Schœnbein, que la tête ou partie antérieure est positive relativement à la queue ou partie postérieure. Enfin nous avons constaté sur le gymnote l'observation de Prudente sur la torpille, que les courants électriques se transmettent dans la direction des fibres musculaires. Cette observation confirme celle de Prevost, que le courant électro-physiologique se dirige dans les muscles du haut en bas, c'est-à-dire de la tête aux extrémités.

Tels sont les faits que nous avons pu vérifier jusqu'ici sur l'animal extraordinaire qui a été transporté pour la première fois dans notre climat. Nous espérons ne pas nous arrêter là dans nos recherches. Nous sera-t-il accordé d'observer quelque fait nouveau, et de contribuer à la découverte de quelque loi nouvelle qui puisse révéler les causes de l'ichthyo-électricité?

Observations du Rédacteur.

MM. de Miranda et Paci insistent particulièrement, dans leur mémoire, sur un fait que nous ne saurions interpréter comme ils le font, savoir, que le gymnote dirige son courant où il veut,

[1] Avec l'aide de Mr. le professeur Prudente pour la partie physiologique.



et en proportionne l'intensité à la résistance qu'il éprouve. Nous croyons que c'est là une illusion, et qu'on pourrait tirer la même conséquence des phénomènes que produit une pile ordinaire, à laquelle cependant on ne peut supposer une volonté.

Le gymnote donne sa décharge quand il le veut; ce fait-là est incontestable. Le courant qui en résulte va de la tête à la queue dans le corps de l'animal, et de la queue à la tête dans le liquide ambiant; la queue et la tête sont comme les deux pôles d'une pile. Ce courant, en traversant le liquide, s'y épanouit, et traverse tous les corps conducteurs qu'il rencontre; ainsi tout animal placé dans l'eau sur la route du courant, sera traversé par lui. Le gymnote peut même, au moyen de la flexibilité de son corps, se recourber de façon que sa tête et sa queue, et par conséquent le courant, soient sur la ligne droite qui passe par l'animal; c'est dans ce sens seulement qu'on peut dire que le gymnote dirige son courant.

Quant à la supposition que le gymnote proportionne l'intensité de sa charge à la résistance qu'il éprouve, nous croyons que les faits sur lesquels cette assertion est fondée s'expliquent naturellement, si on se rappelle que l'effet du courant est toujours plus sensible dans les points où la résistance est le plus grande. Et quant au choix que le gymnote ferait de l'endroit qui dans chaque animal serait le plus sensible à la secousse, pour y diriger son courant, c'est encore une illusion qui tient à ce que le même courant qui passe partout, si du moins la conductibilité le permet, produit là un effet plus prononcé.

J'ajouterai qu'ayant eu occasion de voir à Naples le gymnote dont il est question dans le mémoire de MM. Paci et de Miranda, je ne puis mieux rendre compte de la sensation que m'a fait éprouver la secousse qu'il donne, qu'en la comparant à celle que produit un courant d'induction, ou une pile composée de nombreux éléments et chargée avec des liquides peu conducteurs. Elle n'a aucun rapport avec l'effet de la décharge d'une bouteille de Leyde.

Une circonstance qui assimile encore mieux le courant du gymnote à celui qui est produit par une pile, c'est que si l'on touche l'animal d'une part au milieu du corps, d'autre part à la tête ou à la queue, on a au galvanomètre un courant qui est juste en intensité la moitié de celui qui est développé quand les deux points touchés sont la queue et la tête.

A. DE LA RIVE.

EXPÉRIENCES SUR LA FORCE ÉLECTROMOTRICE DE LA TERRE, par Mr. le doct. L. MAGRINI, prof. de physique à Milan [1].

1. Les expériences que j'ai faites depuis le mois de janvier dernier, conjointement avec les professeurs Belli et Frisiani, en employant le galvanomètre de Gourjon, ont prouvé que l'on pouvait bien en effet obtenir un isolement parfait des fils métalliques ; en d'autres termes, qu'entre deux fils placés dans des circonstances atmosphériques favorables il n'existait pas de communications secondaires sensibles au galvanomètre. Mais ces fils donnent en même temps des indices que l'électricité tend à se transmettre plus facilement par les fibres longitudinales du bois dans lequel avaient été insérées à frottement juste les tiges métalliques, que par les fibres transversales ; il semblait donc probable que les courants que j'ai appelés *telluriques*

[1] Ces expériences ont été faites en addition et en éclaircissement de celles du même auteur, qui furent communiquées au sixième Congrès scientifique italien en 1844, et qui ont été insérées dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, du 20 janvier 1845, et dans les *Archives de l'Electricité*, n° 16, tome IV, page 610. Dans un prochain mémoire Mr. Magrini fera connaître les résultats qu'il a obtenus sur la conductibilité de la terre pour les courants voltaïques.

se manifestent en conséquence d'une circulation électrique qui existerait entre le fil, la terre et la lame implantée dans le sol ; cette circulation aurait lieu au moyen des fibres longitudinales des pieux, qui, aboutissant toutes à la terre, peuvent former par son intermédiaire le circuit galvanique.

Mais d'autres expériences que je décrirai plus tard tendent à montrer que cette circulation s'accomplit très-mal, et que l'effet en est très-faible, résultat qui ne permet pas de pouvoir assigner à cette cause un rôle important dans l'existence des courants telluriques. L'explication de ces courants doit tenir à d'autres causes; il me paraît possible, quant à moi, ou que le fil soutenu en l'air fasse l'office de pointe, et décharge le fluide électrique dans l'atmosphère, ou qu'il serve de véhicule pour propager les ondes électriques si l'on veut admettre la théorie des vibrations. Du reste, les faits subsistent, quel que soit le mode au moyen duquel on admette que l'électricité se transmet ou se disperse; et même si l'on admet qu'il y a circulation de l'électricité entre le fil soutenu dans l'air, la terre et la lame par l'intermédiaire du fil du galvanomètre, on conviendra, d'après l'ensemble des phénomènes, que l'existence d'une force électromotrice propre de la terre peut seule en donner une explication pleinement satisfaisante, et que les résultats de mes expériences ne sont ni simples ni faciles à prévoir, si on n'accorde pas à la terre la faculté d'exciter l'électricité dans les métaux, et de la leur communiquer.

J'entends ici non pas proclamer un nouveau principe, mais étendre le principe établi par Volta ; et j'accepte, dans ce sens, la conclusion de Mr. Matteucci, lorsqu'il dit que « les résultats de mes observations sont des conséquences naturelles des phénomènes de l'électricité voltaïque ». Je suis moi-même parvenu à cette conclusion, puisque je n'ai jamais dit que les courants telluriques fussent d'origine cosmique, comme le sont ceux qui dépendent de la circulation de l'électricité que l'on suppose exister autour du globe terrestre dans la direction de

l'est à l'ouest d'après les notions d'Ampère, de Barlow et de Nobili; j'ai dit, au contraire, qu'ils étaient d'origine physique, c'est-à-dire qu'ils dépendaient des propriétés physiques et chimiques de la terre, et par conséquent de sa force électromotrice propre, force qui peut varier suivant la nature des substances dont le globe est composé, suivant les eaux dont il est pénétré, et suivant la nature des couches métalliques qu'il renferme.

2. Le circuit *CDMBG* représente un conducteur tout métallique de fil de cuivre, qui s'étendrait dans le cas dont il s'agit de Milan à Sesto, et qui constitue un rhéophore de la longueur de 13 900 mètres (voy. fig. 1 de la planche à la fin du cahier).

Le galvanomètre se trouve en *G*, isolé du sol, et son fil fait partie du circuit; *R* et *Z* indiquent le pôle cuivre et le pôle zinc d'un rhéomoteur à la Bagration également isolé[1] *PQ* et *P' Q'* représentent les supports, au nombre de 350, qui soutiennent le fil. Aux points *B*, *C*, *D*, se trouvent de petits verres contenant du mercure, et au moyen desquels on peut établir et inter-

[1] J'ai préféré un rhéomoteur à la Bagration, parce qu'il produit un courant qui dure pendant plusieurs jours. Le mien était formé d'un cylindre creux en zinc, ayant 3 millimètres de diamètre, 11 centimètres de haut, et 21 centimètres de circonférence; il présentait, par conséquent, une surface extérieure de 231 centimètres carrés. Un autre cylindre creux en cuivre, de la même hauteur que celui-ci, et de la circonférence de 65 centimètres, était concentrique et extérieur au premier. La surface concave de ce dernier cylindre était d'environ 715 centimètres carrés; l'intervalle entre ce cylindre et le cylindre de zinc était de 7 centimètres. L'espace intérieur du cylindre de zinc, celui qui était compris entre les deux cylindres, et celui qui existait entre le cylindre de cuivre et les parois du vase de terre cuite, étaient également remplis de terre empâtée par une solution saturée de sel ammoniac.

Le galvanomètre avait un système doublement astatique; il était formé par un fil de cuivre faisant 400 tours, ayant le diamètre de 3/8 de millimètre, et placé autour d'un cadre ayant 8 centimètres de long, 4 1/2 centimètres de haut, et 3 1/2 centimètres de large; l'indicateur marquait les déviations sur un arc métallique de 12 centimètres de diamètre.

rompre rapidement et parfaitement le contact métallique entre les différentes parties du système.

En *K* se trouve une lame tantôt de cuivre, tantôt de zinc, selon des circonstances qui seront exposées plus loin ; elle est plongée dans la terre humide ou dans de l'eau qui est en communication avec la masse du globe.

Aa est l'appendice métallique destiné à faire communiquer la lame avec le fil. Il faut prendre les plus grandes précautions pour empêcher le fil d'être en contact immédiat avec les pieux ; j'avais toujours soin que le fil fût solidement fixé sur de petites tiges recouvertes de taffetas gommé, et insérées dans les pieux.

Les expériences ont été faites dans les jours sereins et après midi, afin que les pieux et les tiges recouverts de taffetas fussent parfaitement débarrassés de toute humidité qui aurait pu s'y déposer pendant la nuit.

Les indications du galvanomètre ont été observées lorsque l'aiguille indicatrice avait cessé d'osciller. J'avais soin à chaque observation de laisser l'aiguille indicatrice fixe pendant environ 15 minutes. Aucune partie de l'appareil ne se trouvait en communication avec l'observateur ; le galvanomètre était même placé à quelque distance, afin qu'il ne pût se produire sous la cloche aucun courant d'air qui eût risqué de faire dévier l'aiguille. Les angles de déviation dont il est question dans ce travail, sont les moyennes de quatre observations qui ont eu lieu à quatre jours différents.

3. *Première expérience*. Lorsqu'on enlève le rhéomoteur qui est désigné par *RZ* dans la figure précédente, qu'on réunit les deux points *C*,*D* par un petit arc métallique *CD*, et qu'on place en *C* l'extrémité *a* de l'appendice *Aa*, on obtient avec la lame de zinc un courant descendant de *a* en *A*, qui produit dans le galvanomètre une déviation de 3° $^3/_8$ (voy. fig. 2).

4. *Deuxième expérience*. Lorsque *a* reste en *C*, et qu'on ouvre le circuit en enlevant l'arc *CD*, le courant descendant, passant en entier par le fil galvanométrique, fait dévier l'aiguille de 6° $^3/_4$.

5. *Troisième expérience.* Si on substitue à la lame de zinc une lame de cuivre, et qu'on ferme de nouveau le circuit avec l'arc *CD*, et qu'on place l'extrémité *a* en *C*, le courant va en sens inverse, c'est-à-dire qu'il monte en *Aa*, et qu'il fait dévier l'aiguille en sens contraire de 3° $^1/_2$ (voy. fig. 3).

6. *Quatrième expérience.* Lorsqu'on ouvre le circuit en enlevant l'arc *CD*, le courant ascendant arrive en entier par le fil galvanométrique, et il produit une déviation de 6° $^1/_2$.

7. Si les résultats des deux premières expériences peuvent s'expliquer d'une manière satisfaisante et conforme aux principes qui régissent le développement de l'électricité métallique, en admettant la circulation par l'intermédiaire des pieux, tel n'est point le cas de la troisième et de la quatrième expérience. Dans celles-ci, en effet, la direction du courant est constamment telle qu'elle le serait si le fil soutenu dans l'air était plus attaqué que le fil plongé dans l'eau. Matteucci lui-même a reconnu ce fait; mais il l'explique en admettant que la somme des points du fil qui sont en contact avec les pieux, et par conséquent avec l'humidité, forme une plus grande surface de cuivre que la lame qui est plongée dans l'eau [1].

A cet égard je ferai observer, en premier lieu, que l'étendue de la surface des éléments qui constituent un rhéomoteur n'exerce d'influence que sur l'intensité du courant, et n'en détermine jamais la direction, laquelle semblerait plutôt dépendre de l'hétérogénéité de ces éléments.

En second lieu, si cette plus grande surface de contact du fil avec les pieux était possible dans les expériences de Mr. Matteucci, qui employait une centaine de pieux et des lames d'un demi-mètre carré de superficie, elle n'avait pas lieu dans mon cas. Le fil que j'employais n'était pas plié autour du pieu,

[1] Pour s'expliquer le cas des pieux mouillés, il faut donc admettre qu'il y a plus de surface de cuivre en contact avec le liquide dans la somme des points du fil qui touche les pieux, qu'il n'y en a dans la lame qui plonge dans l'eau.

mais autour d'un petit support recouvert de taffetas gommé ; et lors même que le taffetas eût été humecté et que le fil eût touché quelque pieu, le contact, à cause de la forme cylindrique du fil, n'aurait pu avoir lieu que sur un petit nombre de points. D'ailleurs le fil, ne faisant qu'un seul tour autour du petit support, ne touchait le taffetas que sur une longueur de un centimètre et demi ; et en accordant même que le fil touche tous les pieux, et qu'il les touche sur un autre demi-centimètre, nous aurions deux centimètres de longueur de fil en contact avec l'humidité adhérente aux supports, et, eu égard au diamètre du fil ($^5/_8$ de millimètre), le contact ne pouvant s'effectuer que par une petite portion de millimètre en largeur, la surface humectée de chaque support ne peut être que de quelques millimètres carrés. Supposons même que le contact s'étende sur un demi-millimètre carré pour chaque millimètre de longueur, il y aurait dix millimètres carrés pour chaque support, et par conséquent en tout la somme de 3500 millimètres carrés ; or mes plaques, ayant un mètre carré de superficie, présentaient, si on tient compte des deux faces, une surface active de deux millions de millimètres carrés.

L'explication de Matteucci ne saurait donc, même dans ce cas, être applicable à mes expériences. Je regrette seulement qu'il n'ait pas pensé à doubler et à tripler la surface de sa plaque, pour lever toute espèce de doute sur la question de savoir si la superficie de la plaque qu'il tenait plongée dans l'eau était plus ou moins grande que celle du fil en contact avec ses pieux.

8. *Cinquième expérience.* Le circuit étant disposé comme dans l'expérience 4, § 6, j'ai placé en terre un récipient en bois contenant un mélange de 40 bocaux d'eau avec un d'acide sulfurique, et j'y ai plongé la plaque de cuivre ; le courant s'est manifesté comme auparavant, montant par *Aa*, et faisant dévier l'aiguille de 7°.

9. *Sixième expérience.* Au lieu d'eau acidulée, j'ai employé

une solution saturée d'ammoniaque ; tout le reste était disposé de la même manière que dans *l'expérience* 5. Le courant s'est montré encore ascendant par *Aa*, et la déviation a été de 6° $^5/_8$.

10. On remarquera, dans les deux expériences que je viens de décrire, l'insuffisance de l'explication donnée par Mr. Matteucci, puisque la lame la plus attaquée se comporte toujours comme élément électro-négatif vis-à-vis du fil soutenu dans l'air.

11. *Septième expérience.* J'ai introduit dans le circuit (toute communication directe avec la terre étant interrompue) la paire à la Bagration *RZ* ; le courant, circulant par *RCGBMD ZR*, imprime à l'aiguille une force suffisante pour la maintenir à une déviation constante de 10° $^5/_8$ (voy. fig. 4).

12. *Huitième expérience.* Ayant établi en *C* la communication du circuit avec la terre, au moyen de l'addition de l'appendice *Aa* de la plaque de cuivre, la déviation se manifeste dans le même sens et s'élève à 10° $^1/_8$.

13. L'augmentation d'un demi-degré, observée dans l'effet galvanométrique de l'expérience précédente, tend à prouver qu'entre la lame et les pieux il n'y a pas de circulation d'électricité sensible au galvanomètre, que les pieux donnent par conséquent un isolement à peu près parfait, au moins par rapport à l'instrument employé.

En effet, si les pieux transmettaient l'électricité en quantité sensible à l'instrument, la lame devrait constituer avec les pieux un *arc de dérivation* ; et dans ce cas l'intensité du *courant partiel* qui passe par le fil galvanométrique aurait, comme on le sait, diminué notablement au lieu d'augmenter.

Cette augmentation fournit, au contraire, un argument favorable à l'hypothèse que le courant ascendant par *Aa* se divise ou se sépare en *C*, se portant en partie vers le galvanomètre, en partie vers le rhéomoteur, de manière toutefois à ne pas donner à l'un ce qu'il enlève à l'autre ; par conséquent il semble que l'électricité montant du sol ait plus de facilité à traverser le fil galvanométrique, peut-être par la raison que le courant

voltaïque étant déjà établi à proximité du nœud, le rhéophore résiste plus fortement à l'établissement de cette portion de courant tellurique, qui tend à faire irruption en sens contraire.

14. *Neuvième expérience.* Lorsqu'on substitue à la lame de cuivre une lame de zinc, la déviation se réduit à 2° $^1/_2$ dans le sens de l'expérience précédente (voy. fig. 6).

15. Ce dernier effet me paraît aussi s'expliquer facilement. Le courant tellurique étant descendant par *aA*, le fluide se trouve attiré par la spirale galvanométrique, et fait dévier l'aiguille de 3° $^5/_8$ (§ 3) ; il est attiré de même par le rhéomoteur *RZ*, et se décharge dans le sol, ce qui doit diminuer de 7 à 8 degrés la déviation primitive produite par le rhéomoteur. Maintenant, si on ajoute à cette soustraction de 8° le reste de 2° $^1/_2$, on obtient justement l'effet galvanométrique de la septième expérience (§ 11).

16. *Dixième expérience.* Lorsqu'on établit en *D* la communication de la lame de cuivre avec le circuit, la déviation est de 17° $^1/_2$, fait qui nous conduit à admettre que le courant tellurique ascendant ajoute son effet à celui du courant voltaïque, c'est-à-dire qu'il est entièrement attiré par la partie zinc de la paire à la Bagration.

17. Ce dernier résultat pris isolément pourrait s'envisager comme un effet du *courant dérivé* qui passerait entre la lame *k* et les pieux, en supposant que la circulation pût s'accomplir avec une facilité suffisante par l'intermédiaire même des pieux ; le fil galvanométrique transmettait le *courant principal*, lequel, ainsi que l'ont démontré Pouillet par l'expérience, et Ohm par la théorie, est plus intense que le *courant primitif*, plus intense c'est-à-dire qu'il ne l'était avant que la dérivation fût effectuée. Mais c'est l'ensemble des phénomènes, et non des faits isolés, que nous voulons expliquer. Le résultat de l'expérience 9 (§ 14) démontre que la lame ensevelie dans le sol joue un autre rôle que celui d'établir un *arc de dérivation*, puisque, pour obtenir cet arc, la nature des métaux devrait être une

chose indifférente, du moins dans les limites de leur conductibilité respective; et on ne rencontrerait pas, par conséquent, cette différence si grande qui existe entre l'effet de l'expérience 8, § 12, et celui de l'expérience 9, § 14.

Il est donc permis de supposer qu'une lame fichée dans le sol forme un couple avec le rhéomoteur de Bagration, et qu'il y a dans l'appareil un état de tension, soit une composition des différentes forces électromotrices, telle qu'on obtient une résultante qui est quelquefois égale à leur différence, et cela selon la nature des métaux et le lieu où est établie leur communication avec le circuit. En somme, la circulation à travers les pieux ne suffit point pour expliquer les faits; et il est nécessaire de recourir à quelque autre moyen.

18. *Onzième expérience*. Lorsqu'on ouvre en *D* le circuit, de manière toutefois que l'arc métallique *AaDZ* ne soit pas interrompu, on observe un léger affaiblissement du courant telluro-voltaïque; la déviation de l'aiguille est de 16° $^3/_4$.

19. On pourrait conclure de ce fait que le courant partiel qui passait par le circuit métallique (interrompu dans ce dernier cas) a une part, quelque petite qu'elle soit, à l'effet galvanométrique de l'expérience précédente

Mais on en pourrait également inférer qu'une longueur de 13 mille mètres de fil soutenu et terminé dans l'air ne suffit pas à décharger le courant complet *AaDZRBM*.

20. *Douzième expérience*. Lorsqu'on établit en *B* la communication de la lame de cuivre avec le circuit, la déviation est de 9° $^1/_4$ (fig. 8).

21. Si la lame forme un *arc de dérivation* avec les pieux, le *courant principal RCGB*.... devrait être plus fort que le courant primitif (10° $^5/_8$, expérience 7, § 11), mais il est au contraire plus faible (9° $^1/_4$); donc la lame ne forme pas avec les pieux un courant dérivé.

De même, si le galvanomètre est situé entre la lame *K* et le rhéomoteur *RZ*, il semble que l'une des parties du courant

tellurique s'achemine par *BM* vers le pôle *Z* du rhéomoteur, et que l'autre s'introduise en sens contraire dans le fil galvanométrique. On comprend alors pourquoi dans ce cas il doit y avoir diminution dans l'intensité du courant *RCGB* (10° $^5/_8$, § 11) qui est produit par le courant voltaïque. Si l'affaiblissement ne paraît pas proportionné à la force du courant tellurique (3° $^1/_2$, expérience 3, § 5), on peut en attribuer la cause à ce que (voy. § 13) le courant tellurique ascendant ne se divise pas, en parties égales dans le circuit voltaïque comme cela a lieu dans un circuit libre, mais qu'il tend à se décharger plus facilement dans le sens du courant excité par la paire *RZ*.

22. *Treizième expérience.* Quand on ouvre le circuit en *B* sans que le circuit métallique *AaB* soit interrompu, on obtient une déviation de 4° $^1/_2$, à peu près égale à l'excès de la déviation de 10° $^5/_8$ (§ 11) produite par le courant voltaïque sur la déviation de 6° $^1/_2$, § 6, qu'on a trouvée provenir du courant tellurique.

23. *Quatorzième expérience.* En substituant dans l'expérience 10, § 16, une lame de zinc à celle de cuivre, on obtient une déviation de 11°. L'effet produit est semblable à celui de l'expérience 8, § 12, et on peut l'expliquer par des raisons analogues à celles qui sont exposées dans le § 13 (fig. 9).

24. *Quinzième expérience.* Si on ouvre le circuit en *D* avec la plaque de zinc, la déviation se réduit à 4° $^1/_2$, résultat qui est dû probablement au conflit qui a lieu entre le mouvement de l'électricité tellurique et le mouvement de l'électricité voltaïque, comme dans l'expérience 13, § 22, ce que semble confirmer l'expérience suivante.

25. *Seizième expérience.* On renverse par rapport au galvanomètre la position des pôles du rhéomoteur voltaïque, on fait en *D* la réunion, à circuit ouvert, avec une lame de cuivre; on obtient une déviation de 4° $^1/_2$ opposée à la précédente; ainsi l'effet galvanométrique est à peu près égal à celui de la

précédente expérience, mais il a lieu en sens contraire, à cause de l'inversion des pôles du rhéomoteur voltaïque (fig. 10).

26. *Dix-septième expérience.* Si on replace le rhéomoteur dans sa position ordinaire relativement au galvanomètre, et qu'on opère en *B* la réunion avec une lame de zinc, le courant se manifeste par une déviation de 17° $^1/_4$, c'est-à-dire avec une intensité à peu près égale à celle qu'on obtient dans l'expérience 10, § 16, et, à ce qu'il me semble, par la même raison. Ce sens du courant tellurique descendant s'accorde dans ce cas avec celui du courant voltaïque (fig. 11).

27. *Dix-huitième expérience.* Ayant ouvert le circuit en *B* sans que l'arc *AaB* soit interrompu, la déviation se réduit à 16° $^1/_4$, effet analogue à celui qui est obtenu dans l'expérience 11, § 18.

28. Tels sont les faits principaux qui m'ont conduit à admettre une force électromotrice propre de la terre, dépendant, non d'une cause cosmique (§ 1), mais des propriétés physiques et chimiques de la terre elle-même [1].

[1] Tout en admettant la parfaite exactitude des expériences de Mr. Magrini, nous ne saurions nous ranger à son opinion. Nous croyons d'abord, avec Mr. Matteucci, qu'une différence de surface peut influer sur le sens du courant lorsque les deux éléments du couple sont de même nature, par exemple tous deux de cuivre; mais nous croyons surtout que l'action chimique exercée sur les fils de cuivre par l'air humide dont sont imprégnés les supports sur lesquels ils reposent, doit déterminer le sens du courant bien mieux que l'action de l'eau ou des liquides quelconques dans lesquels plonge la lame de cuivre. Cette opinion est fondée sur plusieurs faits qui se rattachent au principe que la recomposition immédiate des deux électricités est bien plus difficile dans le premier cas que dans le second. Quand la plaque enfoncée dans le sol ou immergée dans l'eau est de zinc et non de cuivre, alors le sens du courant est bien celui qui doit résulter d'une communication plus ou moins parfaite établie entre les supports et le sol. Nous ne pouvons donc encore regarder comme démontré d'une manière irréfragable que les expériences de Mr. Magrini conduisent nécessairement à admettre l'existence de courants telluriques. (R.)

EFFETS MÉCANIQUES DES COURANTS VOLTAÏQLES, par le docteur A. FUSINIERI. (Extrait d'un mémoire publié dans les cahiers 3 et 4 de 1845, des *Annal. delle Scienze.*)

Les expériences ont été faites, soit avec une pile à colonne constante selon la première méthode de Volta, soit avec plusieurs piles à colonnes réunies entre elles par une communication métallique.

Je me suis occupé principalement des oxidations très-remarquables qui se forment entre les couples zinc et cuivre, lorsqu'ils sont soudés ensemble de façon que les soudures ne permettent l'introduction d'aucun liquide.

Ces oxidations intérieures sont déterminées par l'usage fréquent et prolongé des paires soudées qui forment les piles; elles seront l'objet d'un prochain mémoire, dans lequel j'exposerai le résultat de mes recherches sur ce sujet. A l'occasion de ces recherches j'ai été conduit à observer quelques effets mécaniques du courant sur les métaux réunis, et c'est à l'étude de ces effets que se bornera le présent mémoire, qui contribuera peut-être en même temps à répandre quelque lumière sur la cause des oxidations intérieures dont je viens de parler.

1. J'avais formé des couples avec des disques de zinc et de cuivre, soudés à l'étain, de 9 cent. et 2 millim. de diamètre. Les disques de zinc avaient environ deux millimètres d'épaisseur; ceux de cuivre n'en avaient qu'un. La soudure était faite de trois manières différentes: ou sur le contour seulement, ou sur une zone circulaire intérieure recouverte d'une couche mince d'étain, ou enfin sur toute l'étendue de la surface intérieure. Les couples dont les plaques étaient soudées alternaient

avec des couples semblables, mais dont les éléments n'étaient pas soudés. Je n'en ai pas employé en tout au-delà de quatre cents, et alors j'en ai formé quatre colonnes communiquant entre elles par des traverses métalliques.

J'ai toujours observé qu'avec des disques de cette dimension et après un usage long et réitéré, les plaques soudées ensemble, au lieu de rester planes comme elles l'étaient dans l'origine, devenaient légèrement bosselées ; le cuivre et le zinc se séparaient même l'un de l'autre, sans cependant que la soudure eût cédé.

La courbure produite était visible lorsque l'on comparait les paires chez lesquelles elle existait, avec d'autres paires également soudées mais qui n'avaient pas encore servi. La séparation des deux métaux pouvait être appréciée au son que rendaient les paires lorsqu'on les frappait, son plus grave que celui qu'elles produisaient dans l'origine. L'ouvrier qui les avait faites distinguait très-bien la différence à la simple inspection.

L'effet produit sur les paires bosselées était une alternative de soulèvements et d'enfoncements légers ; le plus souvent, ce qui était soulèvement d'un côté sur un métal, était enfoncement de l'autre côté sur l'autre métal ; en général, c'était le cuivre qui présentait la convexité ; et comme la cavité correspondante chez le zinc était en général moins prononcée, il en résultait que les deux métaux se détachaient.

Cependant dans quelques cas, dont je ferai mention plus loin, c'était le zinc qui devenait convexe et le cuivre qui était concave.

Le courant positif se portant toujours du cuivre au zinc dans un couple de deux métaux qui fait partie d'un circuit, il semble que c'est le premier métal qui devrait être concave et le second convexe, si l'on attribue la plus grande force mécanique au courant positif, comme cela a lieu en général dans le transport de la matière opéré par le courant électrique (§ 1, n° 4). Mais la convexité du cuivre soudé peut dépendre de plusieurs

causes : d'abord, de sa plus grande dilatabilité par rapport au zinc sous l'action du même courant; ensuite, comme la moindre épaisseur du cuivre le rend plus flexible, sa convexité peut être aussi un effet de réaction du même courant positif dans son passage du cuivre au zinc.

Dans un mémoire sur le transport de la matière pondérable qui accompagne les étincelles électriques, j'ai déjà fait l'observation que, dans le passage de l'étincelle d'un métal à un autre, il se produisait une cavité de percussion, non-seulement sur le métal dans lequel entrait l'étincelle, mais même sur le métal duquel elle sortait, et cela en vertu de la réaction dont je parle actuellement ; c'est-à-dire que la force répulsive entre les parties du métal transporté agissait dans les deux directions opposées.

Dans le même mémoire j'ai fait mention du transport réciproque des métaux dans des directions opposées ; et dans le cas dont il s'agit ici, on doit accorder une action mécanique, quoique moins grande, même au courant négatif, quand on l'accorde au courant positif.

2. J'ai employé une autre pile à colonne de Volta, formée de 50 paires circulaires de zinc et de cuivre, soudées ensemble par une zone intérieure d'étain, et qui avaient un diamètre de 5 centimètres 3 millimètres, dimension beaucoup moindre que celle des précédentes. Je n'ai pas remarqué que celles-ci fussent notablement bosselées ou courbées, ce que j'attribue, non-seulement à la moindre force du courant en comparaison de celui qui était produit par les 200 paires plus grandes, disposées en quatre colonnes, mais aussi au moindre diamètre des plaques ; l'épaisseur du zinc était de 1 $^1/_2$ millimètre, et celle du cuivre seulement de la moitié.

Il en fut de même de quelques autres couples formés par des disques de zinc et de cuivre soudés à l'étain et d'une pile employée depuis longtemps dont les plaques avaient un diamètre de 5 centimètres 2 millimètres. L'épaisseur du zinc était de

1 $^1/_3$ millimètre, celle du cuivre d'un millimètre environ. J'employai d'autres paires carrées de zinc et de cuivre également soudées à l'étain de 4 $^1/_2$ centimètres de côté; le zinc avait 1 $^1/_2$ millimètre d'épaisseur et le cuivre un peu plus de la moitié; je n'ai observé dans cette pile, qui avait souvent servi précédemment, aucune altération dans la forme du métal. On verra plus loin comment ces altérations deviennent très-sensibles sous l'action des courants électriques de petites paires formées de métaux plus minces.

On verra aussi, dans un autre mémoire, quels effets remarquables d'oxidation intérieure j'ai trouvé dans ces mêmes paires de petites dimensions, sans que le liquide se fût introduit entre les métaux soudés ensemble.

3. Ayant formé une pile de quatre colonnes de 200 paires avec les disques de cuivre et de zinc de la première dimension (§ 1), j'ai interposé, entre les deux pôles qui étaient à la base de la première et de la quatrième colonne, une série de paires semblables et égales soudées ensemble, non par de l'étain mais par de la gomme laque, et qui communiquaient entre elles au moyen de fils de laiton. Elles étaient disposées de manière que le cuivre de chacune d'elles fût en regard du zinc de la paire précédente; ainsi, le cuivre de la première paire à gauche communiquait avec le pôle positif, et le zinc de la dernière à droite communiquait avec le pôle négatif; de cette façon la série des paires formait une pile à colonne continue, et le courant revenait sur lui-même.

J'ai placé dans l'intérieur d'une de ces paires une feuille mince d'étain, et dans une autre paire une feuille mince de cuivre. Après avoir soumis ces deux paires, qui avaient été soudées par de la gomme laque, à l'action continue de l'appareil, j'en ai retiré les feuilles minces. Celle d'étain était devenue toute sinueuse, et ses deux surfaces étaient altérées comme si elles avaient souffert une légère fusion superficielle. La feuille de cuivre présentait les mêmes apparences, et de plus quelques

taches d'oxide à la surface qui était en contact avec le zinc ; ses deux surfaces étaient aussi sinueuses et granuleuses.

Les sinuosités, les granulosités des surfaces sont assurément des effets mécaniques produits par le courant sur les feuilles métalliques.

Je passe maintenant aux effets plus positifs et plus distincts qui démontrent clairement l'origine des phénomènes précédents.

4. J'ai formé un élément voltaïque avec une petite auge de cuivre, longue de 12 centimètres 7 millimètres, haute de 10 centimètres 2 millimètres, large de 1 centimètre 2 millimètres, et avec une lame de zinc carrée de 10 centimètres de côté, suspendue au centre de l'auge sans être en contact avec le cuivre. Un fil de cuivre long de 30 centimètres environ était soudé à l'étain par une de ses extrémités à l'auge, et par l'autre extrémité à la lame de zinc. Ayant coupé ce fil au milieu de sa longueur, j'ai soudé à ses deux extrémités fraîchement coupées, une paire formée par un disque de zinc en feuille d'un tiers de millimètre d'épaisseur et du diamètre de 3 centimètres 8 millimètres, et par un disque de cuivre en feuille de la moitié de l'épaisseur du zinc et du diamètre de 4 centimètres. Les soudures des deux fils de cuivre qui partaient de l'auge et de la plaque étaient faites vers le centre des disques et de manière que le fil de l'auge fût réuni au disque de cuivre et le fil de la plaque au disque de zinc.

Les deux disques étaient soudés ensemble avec de l'étain qui recouvrait tout l'espace que laissait libre dans la superposition des deux disques leur différence de diamètre, ce qui faisait une zone d'étain large de 3 millimètres environ, qui s'étendait à peu près d'autant sur le disque moins grand de zinc.

Il est à remarquer que cette petite paire cuivre et zinc, soudée comme ci-dessus aux extrémités des deux fils, était dans l'origine parfaitement plane ; l'auge fut ensuite à peu près remplie d'eau acidulée par de l'acide sulfurique et nitrique.

La petite paire soudée était soutenue en l'air aussi distante de l'auge que le permettaient les fils qui y étaient attachés et qui étaient longs de 15 centimètres. J'ai laissé agir l'élément pendant quatre jours consécutifs, en renouvelant à propos le liquide; au bout de ce temps la lame de zinc plongée dans le liquide était dissoute, et il n'en restait que la petite portion qui ne trempait pas et qui était demeurée attachée à son fil de cuivre.

L'effet le plus remarquable de cette expérience fut produit sur la petite paire cuivre et zinc, suspendue en l'air: elle n'était plus plane comme dans l'origine, mais irrégulièrement contournée et défigurée; chacun des deux disques était devenu alternativement concave et convexe, et de plus ils s'étaient séparés sur un espace de quelques centimètres. Tous ces effets étaient dûs à une force mécanique du courant et nullement à la chaleur, car la petite paire suspendue ne pouvait éprouver qu'un accroissement de température bien minime et qui n'était capable en aucune façon de produire les altérations subies par les deux métaux.

5. J'ai pris deux disques zinc et cuivre, des dimensions indiquées au § 1, et j'ai fait souder au bord du disque de cuivre un fil du même métal, et au bord du disque de zinc un fil de laiton; les deux fils étaient longs d'environ 14 centimètres et épais d'un millimètre et demi. J'ai ployé les extrémités des deux fils à angle droit, pour y souder une petite paire formée avec des disques cuivre et zinc semblables à ceux qui étaient employés dans l'expérience précédente. Ces petits disques étaient, comme les précédents, formés par des lames minces de zinc et de cuivre, et cette seconde paire fut soudée à l'étain dans son contour. La seule différence était dans les diamètres des deux petits disques, qui étaient un peu plus grands que ceux de la première paire; le diamètre du disque cuivre était de 4 centimètres 6 millimètres; celui du disque zinc était de 4 centimètres 5 millimètres. La soudure d'étain recouvrait, comme dans le premier cas (§ 4), tout l'excédant

du cuivre sur le zinc et même une petite partie du zinc. Cette paire était parfaitement plane; je soudai vers le centre du disque de cuivre le gros fil de cuivre qui partait du plus grand disque de cuivre, et vers le centre du petit disque de zinc, le fil de laiton qui partait du plus grand disque de zinc, sans que ces soudures altérassent le moins du monde la forme plane de la paire. Lorsque, dans cet appareil, les gros fils de cuivre et de laiton étaient tenus verticaux, les deux grands disques zinc et cuivre devenaient verticaux en face l'un de l'autre et parallèles, étant à un centimètre et demi de distance l'un de l'autre.

J'avais mis dans un vase cylindrique de verre suffisamment grand de l'eau acidulée par un trentième d'acide moitié sulfurique, moitié nitrique. Je plongeai perpendiculairement dans cette eau la plus grande partie des deux grands disques cuivre et zinc; cette disposition maintenait verticaux les fils qui soutenaient dans une position verticale la petite paire dont les plaques étaient soudées. Deux traverses de bois soutenaient les deux fils ployés à angle droit; et la petite paire soudée était maintenue distante de la surface du liquide d'environ 10 centimètres.

Je laissai agir pendant longtemps le liquide sur les deux disques zinc et cuivre, dont la majeure partie était immergée; et j'augmentais l'action lorsque je la voyais s'affaiblir, soit en versant dans le liquide une nouvelle quantité des deux acides, soit en renouvelant entièrement l'eau acidulée.

Au bout de trois jours toute la partie du zinc qui trempait dans le liquide était dissoute; le disque de cuivre était, au contraire, demeuré entier. Je fis ensuite souder un nouveau disque de zinc au fil de laiton; mais au bout de trois jours la partie de ce disque qui était plongée dans le liquide était encore dissoute; un troisième disque soumis à la même action, mais pendant deux jours seulement, fut, non pas dissous, mais très-corrodé. L'action, qui avait par conséquent duré huit jours et qui avait consommé deux disques de zinc et fortement corrodé

un troisième, n'avait pas sensiblement diminué le cuivre; le disque de ce métal se couvrait constamment de l'oxide gris-noir de zinc, décrit par Berzélius dans son Traité de chimie (T. III, p. 201-204), lequel se convertissait en une couche mince de zinc réduit. Sur cette couche se déposait une nouvelle quantité du même oxide de zinc, et ainsi de suite.

Dans ces expériences, la présence du courant électrique était indiquée par le transport de bulles gazeuses qui surnageaient sur le liquide. Les courants sortaient de l'espace compris entre les deux métaux et, formant une courbe en dehors d'un et d'autre côté, ils se retournaient vers la surface extérieure du cuivre, tandis que des courants rectilignes et perpendiculaires à la surface extérieure du zinc se projetaient dans le liquide; mais je renvoie à une autre occasion les détails relatifs à ce point particulier, mon but ici n'étant que de montrer l'effet mécanique qu'éprouve la petite paire fixée aux fils qui partent des deux disques plongés dans le liquide.

La petite, par laquelle avait passé le courant positif du cuivre au zinc, avait souffert des altérations évidentes semblables à celles de la petite paire interposée dans le fil de l'élément à auge de cuivre (§ 4). Dans le cas actuel la soudure de la petite paire ne fut toutefois rompue nulle part.

6. J'ai employé un autre appareil semblable au précédent (§ 5), c'est-à-dire avec des disques zinc et cuivre plus grands; des fils de laiton soudés au zinc, de cuivre soudés au cuivre, et repliés aux extrémités à angle droit, avaient une petite paire de disques zinc et cuivre soudés ensemble et fixés vers le centre, le zinc au fil de laiton et le cuivre au fil de cuivre. Comme les grands disques zinc et cuivre étaient semblables aux précédents, de même les petits disques zinc et cuivre étaient formés de lames minces comme les précédents (§ 4 et 5). La seule différence était dans les diamètres : le diamètre du zinc était de 4 centimèt. 9 millimètres, et celui du cuivre de 5 centimètres 2 millimètres. Il restait donc à la circonférence un excédant de

3 millimètres de cuivre sur le zinc qui était recouvert par la soudure, laquelle s'étendait aussi un peu sur le zinc. La distance des disques plus grands, parallèles et en face l'un de l'autre, était d'environ 1 centimètre et demi comme ci-dessus (§ 5).

L'eau acidulée contenait un trentième d'acide moitié sulfurique, moitié nitrique; l'action fut maintenue soit en ajoutant de l'acide, soit en renouvelant tout le liquide. Au bout de trois jours la partie plongée du disque de zinc était dissoute, et un second disque semblable fut soudé au fil de laiton. Au bout de trois jours le nouveau disque était dissous, et j'ai interrompu l'expérience en retirant l'appareil du liquide. Le disque de cuivre, comme dans le cas précédent, n'était pas attaqué directement par l'acide; il était recouvert de l'oxide de zinc mentionné par Berzélius, oxide qui se transformait ensuite en zinc métallique, et sur lequel s'étendait de nouveau une couche du même oxide.

La petite paire suspendue dans l'air entre les deux fils attachés aux disques qui trempaient dans le liquide, et par laquelle passait le courant, s'est bosselée comme dans les cas précédents (§ 4 et 5). Elle l'était moins cependant, mais en revanche elle présentait d'une manière notable le phénomène du détachement des disques, sans que la soudure eût cédé; la paire s'est bosselée de manière que le cuivre est devenu convexe et le zinc concave, quoique irrégulièrement, à cause des sinuosités partielles.

7. Je dois ici faire observer que j'avais fait faire un quatrième couple de disques zinc et cuivre des mêmes dimensions et soudés de la même manière, que j'ai conservé intact, sans le soumettre à aucune expérience; il m'a servi de point de comparaison pour m'assurer du degré d'altération et de changement qu'éprouvent les paires soumises à l'action du courant.

8. Il me semble que ces altérations et ces changements

si marqués prouvent d'une manière évidente que les altérations plus légères qu'avaient éprouvées les couples plus grands de la pile de 200 éléments dont j'ai parlé plus haut (§ 1), étaient dues à la même cause mécanique. Il me paraît également prouvé que c'est à l'action mécanique que sont dues les sinuosités et les petites proéminences des feuilles métalliques renfermées entre les disques des couples par lesquels passaient les courants électriques (§ 3).

Je ne parlerai pas ici des oxidations intérieures qui ont été trouvées en ouvrant les petites paires mentionnées ci-dessus (§ 4, 5 et 6), puisque j'en parlerai dans un autre mémoire spécial. Je terminerai en exposant quelques autres effets mécaniques des courants galvaniques.

9. J'ai formé un élément de Volta avec une auge rectangulaire de cuivre et une plaque intérieure de zinc, de dimensions plus considérables que la précédente (§ 4). L'auge était formée par deux plaques de cuivre, longues de 2 pieds 11 pouces, hautes de 1 pied 5 pouces, et larges intérieurement seulement de 9 lignes. La plaque de zinc à introduire dans l'auge et de dimensions un peu moindres était renfermée dans un sac de grosse toile pour empêcher le contact avec le cuivre. Au bord supérieur de l'auge était soudé à l'étain un fil de cuivre long de 5 pouces, d'une ligne et deux tiers de diamètre ; et au côté supérieur de la plaque de zinc était soudé un fil de laiton de la même longueur que le fil de cuivre, et épais d'une ligne et un tiers. Lorsque la plaque de zinc était introduite dans l'auge, la distance entre les deux fils des pôles était de 6 pouces $^1/_2$.

Lorsque l'auge était remplie d'eau pure, le fil communiquant avec les pôles, qui était un fil de cuivre très-court et mince, se réchauffait d'une manière appréciable au toucher, c'est-à-dire qu'il devenait tiède.

On a courbé à l'endroit convenable ces deux gros fils qui partaient des pôles, et on leur a fait soutenir un des couples ordinaires zinc et cuivre de 9 centimètres de diamètre (§ 1) en

le pressant des deux côtés vers son centre, et en s'aidant de deux petits pieds de verre soudés à la gomme laque et placés aux bords de l'auge.

Le couple, qui était parfaitement plan, était soudé à l'étain sur tout son contour, et, pour mieux intercepter l'air, ce bord et la soudure étaient recouverts d'un enduit de cire. L'appareil a fonctionné pendant quatre jours avec de l'eau pure; ensuite je l'ai examiné. Je ne parlerai pas ici de l'état d'oxidation intérieure de la paire traversée par le courant; mais, quant à l'effet mécanique, le couple avait contracté une faible courbure, de manière que le zinc était légèrement concave, le cuivre un peu convexe; l'effet de la pression dans ce cas s'accordait donc avec le sens du courant positif.

On voit, dans cette expérience, qu'avec peu de chaleur il y a eu un effet mécanique très-prononcé, celui de courber, légèrement il est vrai, les disques métalliques et surtout le zinc, preuve évidente qu'il y a un autre agent que la chaleur, et que cet agent est le courant électrique.

10. Enfin, j'avais déjà, en 1843, disposé une pile de 31 paires formées de disques ordinaires zinc et cuivre, des dimensions décrites ci-dessus § 1, et avec des rondelles de drap humectées d'eau salée. Elles étaient toutes soudées à l'étain, quelques-unes seulement sur le contour, d'autres sur une zone circulaire intérieure, et quelques-unes, en petit nombre, sur toute la surface intérieure. Celles qui avaient servi dans la pile de 200 paires n° 1, devinrent un peu bosselées; mais la plupart, qui n'avaient point été employées, restèrent parfaitement planes. J'ai pris note des états différents de ces paires.

Dans l'origine et pendant longtemps, les deux pôles communiquaient entre eux au moyen d'un fil de laiton. J'enlevai ensuite ce fil, et la pile demeura sans emploi, et pour ainsi dire oubliée. Dernièrement je l'ai démontée, et j'ai trouvé toutes les paires garnies alentour d'oxide blanc de zinc uni à un sel de soude, et les rondelles de drap durcies et imprégnées de

cette substance. Je ne parle pas de l'état d'oxidation intérieure de ces paires, chez lesquelles la soudure ne permettait cependant l'entrée d'aucun liquide.

Mais voici l'effet mécanique qui a eu lieu. Il s'est manifesté, même dans les paires qui n'avaient servi dans aucune autre pile, un certain nombre de sinuosités irrégulières, quoique légères, qui les différenciaient des paires également soudées et qu'on avait maintenues intactes pour servir de point de comparaison.

Elles étaient devenues plus différentes encore des disques séparés cuivre et zinc qui leur étaient auparavant parfaitement semblables. Outre les irrégularités légères qui caractérisaient les paires employées pour former la pile, l'ensemble de chaque paire était en général convexe du côté cuivre, et concave du côté zinc; j'en trouvai aussi, au pôle positif, qui étaient convexes du côté zinc et concaves du côté cuivre. Ces effets s'appréciaient très-bien en appliquant une règle sur la surface.

Je n'attribue pas tous ces résultats à la seule électricité développée dans la pile. Il est bien connu qu'une seule paire, soit séparée soit soudée, a ses petits courants positif et négatif, que produit l'action exercée par l'air et par l'humidité atmosphérique sur la surface externe du zinc; ces courants, tout faibles qu'ils sont, doivent graduellement produire un effet qui devient finalement appréciable. Dans le cas dont le parle, ces courants partiels doivent avoir continué à exister lors même que le courant général de la pile avait cessé.

11. Je n'aurais point osé tirer de conséquence positive des effets décrits aux paragraphes 9, 10 et 1, parce que ces effets sont trop minimes. Mais il n'en est pas de même de ceux que j'ai décrits aux § 4, 5, 6 et 7; là aucun doute ne peut s'élever, et on peut affirmer que la même force mécanique a produit également les autres phénomènes observés.

Conclusion.

Les expériences qui viennent d'être rapportées tendent à

prouver ce que j'ai déjà dit ailleurs, savoir : que l'action mécanique des courants voltaïques, au lieu de consister en percussions violentes de masses contre masses, comme le sont celles des décharges électriques par étincelles et surtout les décharges atmosphériques, consiste en pressions continues qui sont exercées dans l'intérieur des corps et qui déplacent les molécules et les distribuent différemment. Ainsi les métaux, par exemple, sont modifiés comme s'ils avaient passé par un état d'amollissement. En tout cas il y a un choc mécanique; et qu'est-ce qui peut heurter la matière, si ce n'est de la matière ?

Note sur le laiton produit par les courants voltaïques.

On sait déjà que dans les piles zinc et cuivre formées d'après l'ancienne méthode de Volta, lorsque le circuit est fermé, il y a, à travers le liquide, un transport de molécules de zinc qui se déposent sur le cuivre, et de molécules de cuivre qui se déposent sur le zinc, sur la surface de contact de ces deux métaux ; dans ce second cas il se forme parfois du laiton. (Biot, *Précis élémentaire de physique*, 3e édition, tome I, chapitre XVII, p. 653—654.)

Avec la pile à quatre colonnes dont j'ai déjà parlé, j'ai vérifié que le zinc était bien transporté sur le cuivre à travers le liquide, mais j'ai observé aussi que dans ce transport il se formait quelquefois du laiton sur le cuivre lui-même.

J'ai également remarqué que, dans l'intérieur des couples, le zinc avait été transporté sur le cuivre en lames très-minces et brillantes ; j'ai vu une fois du laiton se former sur le zinc du côté du liquide.

Ces derniers faits ne s'accordent pas avec la loi du transport, par l'intermédiaire du courant positif, du cuivre sur le zinc aux surfaces de contact, et du zinc sur le cuivre à travers le liquide. Mais dans les piles à colonnes, construites d'après la première méthode de Volta, il y a des réactions qui ne sont pas

précisées, et sur lesquelles il y aurait à faire, relativement au transport des oxides, des observations que je dois réserver pour une autre occasion. Il ne faut pas oublier qu'il existe un courant négatif qui transporte les métaux dans une direction contraire au transport qu'opère le courant positif, ainsi qu'on le voit dans mon mémoire sur l'étincelle électrique.

On a vu, dans le cas de la pile, que, dans les paires soudées la convexité était le plus souvent du côté du cuivre, mais qu'elle était quelquefois du côté du zinc (§ 1, 4, 5, 6, 8 et 9).

Le cas le plus simple est celui d'un élément zinc et cuivre avec un liquide interposé, les deux métaux communiquant extérieurement entre eux. Dans l'expérience décrite § 4, avec une auge de cuivre et une plaque intérieure de zinc, j'ai observé un dépôt de laiton autour du point de soudure du fil conducteur de cuivre avec la plaque de zinc; c'était par ce fil que le courant positif allait du cuivre au zinc; il est facile de voir que le laiton provenait du transport du cuivre sur le zinc. Ayant conservé longtemps la portion de la lame de zinc à laquelle était lié le fil de cuivre, je me suis aperçu que la tache de laiton avait finalement disparu; j'attribue cette disparition à l'extrême ténuité de la couche, circonstance qui lui a permis de se volatiliser; il m'est de même arrivé de voir disparaître par volatilisation les lames minces de laiton et d'or transportées sur l'argent par l'étincelle électrique [1].

[1] Nous ne nous permettrons aucune observation sur ce mémoire avant de connaître le travail subséquent qu'annonce Mr. Fusinieri. Sans contester la vérité de ses conclusions, nous ne serions pas cependant aussi éloignés que lui de voir dans les phénomènes qu'il décrit un effet de la chaleur développée par le courant. Les disques dont il forme ses couples sont très-minces, on sait que le dégagement de chaleur est toujours plus considérable aux points de contact de deux conducteurs hétérogènes; voilà des motifs suffisants pour ne pas exclure complétement l'action de la chaleur. Quant aux oxidations intérieures, nous ne pouvons les attribuer qu'à l'humidité renfermée entre les deux disques soudés ensemble. (R.)

NOTE SUR L'INDUCTION ÉLECTRO-STATIQUE OU DE LA DÉCHARGE DE LA BOUTEILLE, par Mr. Ch. MATTEUCCI. (*Comptes rendus de l'Acad. des Sc.*, du 21 juillet 1845.)

Dans mon mémoire sur l'induction électro-statique ou de la décharge de la bouteille, inséré dans les *Annales de Chimie et de Physique*, février 1842, j'ai tâché de déterminer la direction des courants induits d'un ordre différent, relativement à celle du courant principal, suivant que le circuit inducteur ou l'induit étaient ou tous les deux fermés, ou tous les deux ouverts, ou l'un fermé et l'autre ouvert. Dans le cas des circuits fermés, la direction du courant était déterminée par le galvanomètre ; dans le cas du circuit ouvert, elle était indiquée par la position du trou fait dans le papier par l'étincelle, relativement aux deux extrémités de la spirale. L'incertitude qui règne toujours sur la direction des décharges qui magnétisent les aiguilles d'acier ou de fer doux, m'avait fait renoncer à une telle méthode. Les résultats auxquels je parvins dans ce mémoire sont ceux-ci : Le courant induit par la décharge de la bouteille est toujours dans une direction contraire à la décharge même, si le circuit induit est ouvert, ou bien s'il y a étincelle ; au contraire, le courant induit est dans le même sens que la décharge si le circuit est fermé. En étudiant la direction des courants induits de deuxième et de troisième ordre, produits par le courant induit de premier ou de second ordre, les résultats étaient généralisés de la manière suivante : quel que soit le circuit secondaire que l'on prend, le courant développé par induction est toujours dirigé dans le même sens que le courant inducteur, si l'un des circuits, n'importe lequel, est fermé, et l'autre ouvert. Mais si ces deux circuits sont ou tous les

deux fermés, ou tous les deux ouverts, le courant d'induction est dirigé en sens contraire du courant inducteur. Dans un cas, l'induction s'opère comme par le courant voltaïque qui cesse, et dans l'autre, comme dans le cas où ce courant commence à agir.

Depuis lors, j'ai eu bien souvent l'occasion de répéter mes expériences, surtout dans mes leçons, et je ne me suis jamais aperçu de m'être trompé. L'appareil dont je me servais alors, et que j'emploie encore à présent, se réduit à un certain nombre de spirales planes sur chacune desquelles est roulé un fil de cuivre de deux tiers de millimètre de diamètre et de 23 mètres de longueur. La décharge dont je me sers est celle que j'obtiens d'un certain nombre de bouteilles ordinaires. L'appareil pour faire le trou dans le papier est l'appareil bien connu de Lullin, où deux pointes métalliques touchent les deux faces d'une feuille de papier à la distance de quelques millimètres l'une de l'autre. En étudiant la direction du courant induit à circuit fermé et de premier ordre, avec le galvanomètre ou avec le magnétisme communiqué dans le même temps, on ne tarde pas à découvrir que, pour une charge donnée, le courant d'induction varie de direction à mesure qu'on éloigne les deux spirales si l'on se sert du magnétisme, tandis qu'avec le galvanomètre la direction du courant induit est constamment dans le même sens que la décharge, et ne fait que diminuer rapidement par la distance.

Dans les numéros 1 et 2 des *Annalen der Physik und Chemie von Poggendorff*, 1845, il y a un mémoire de Mr. Knochenhauer sur le courant secondaire.

Ce physicien emploie, pour étudier, le même appareil dont s'est servi Harris et dont s'est servi aussi Riess, principalement dans ses belles recherches sur l'induction. Mr. Knochenhauer, en étudiant la direction du courant induit par la décharge de la bouteille, est arrivé à un résultat opposé au mien. Il conclut, d'après ses expériences, que la direction du courant induit est

la même, soit que le circuit soit fermé, soit qu'il soit ouvert. Si j'ai bien compris ce que ce physicien dit à la page 293 de son mémoire, la méthode dont il se sert pour étudier la direction du courant induit serait la suivante : dans le circuit induit ou secondaire, il introduit par dérivation le courant principal ou inducteur. Un thermoscope fait partie du circuit induit, et un autre de l'inducteur. Les échauffements des deux thermoscopes sont mesurés soit dans le cas où l'un des circuits est ouvert, et par conséquent avec l'étincelle, soit dans le cas où le circuit est fermé ; dans ces deux expériences de comparaison, la direction de l'inducteur est la même. Dans une autre série d'expériences, l'auteur fait la même comparaison en renversant la direction du courant inducteur. Les échauffements obtenus sont sensiblement les mêmes, soit avec le circuit ouvert, soit avec le circuit fermé. Mr. Knochenhauer déduit de ces résultats que la direction du courant induit est aussi bien constante avec le circuit ouvert qu'avec le circuit fermé de l'inducteur. Si je ne me trompe, le fondement de cette conclusion réside tout à fait dans l'hypothèse que deux courants, transmis dans un fil métallique en direction contraire, produisent dans ce même fil un échauffement plus faible que celui que produisent ces mêmes courants dirigés dans le même sens. D'où il résulterait, d'après ce savant, que si la direction du courant induit était renversée à cause de la fermeture ou de l'ouverture du circuit inducteur, l'échauffement produit par le courant induit devrait être différent, attendu qu'il se trouve tantôt dans le sens du courant inducteur, tantôt dans le sens contraire. L'expérience donnant à l'auteur le même échauffement dans les deux cas, il serait prouvé pour lui que la direction du courant induit est toujours la même.

Pour que cette conclusion fût exacte, il faudrait que l'expérience eût démontré le principe sur lequel elle est fondée. Je ne sache pas qu'il y ait, dans les beaux travaux de Riess, ni dans ceux de Harris, ni dans ceux de l'auteur, aucune expé-

rience qui prouve la nullité de l'effet calorifique de deux courants égaux qui circulent dans un fil en direction contraire. Je pense que l'on doit distinguer le cas où le fil thermoscopique est le corps sur lequel agissent les deux causes qui tendent à produire les courants en direction opposée, du cas dans lequel le fil thermoscopique est parcouru par les deux courants produits dans un point quelconque du circuit. M'étant rappelé que j'avais tenté dernièrement quelques expériences sur ce sujet, il m'avait semblé que la supposition de l'auteur n'était pas d'accord avec les faits; toutefois, j'ai cru devoir tenter de nouveau quelques expériences pour mieux fixer mon opinion sur ce point. J'ai fait passer le courant d'un couple de Bunsen par la spirale en platine de l'appareil même de Riess et de l'auteur, et, après que l'index de l'instrument eut été fixé, je fis traverser la même spirale par la décharge de trois bouteilles dirigée tantôt dans le sens du courant voltaïque, tantôt dans le sens contraire. L'intensité de la décharge et celle du courant étaient réglées de manière qu'en passant par la spirale en platine, elles pussent produire séparément le même échauffement. Je ne m'arrêterai pas à décrire la disposition de ces expériences, trop aisées à comprendre. Quelle que fût la direction de la décharge, l'échauffement obtenu était le même et sensiblement égal à la somme des échauffements causés par la décharge et par le courant séparément. Si dans les expériences que j'ai tentées il me fût arrivé de trouver des différences considérables entre un cas et un autre, j'aurais éprouvé la nécessité de les varier et de les étendre; mais, au contraire, les résultats ayant été bien d'accord avec la supposition que l'échauffement produit par deux décharges électriques ne varie pas avec leur direction relative, j'ai cru devoir me contenter de ce que j'ai fait. Je me propose pourtant de revenir plus au long sur ces recherches. Cependant, si l'on admet comme vrais les résultats de Mr. Knochenhauer, il s'ensuivrait que l'intensité du courant induit par un courant inducteur, tantôt à circuit ouvert, tantôt à circuit

fermé, serait la même; de sorte que la différence se réduirait à ceci : le courant d'induction serait produit, tantôt lorsque l'induction commence à agir, tantôt lorsqu'elle finit.

Quoi qu'il en soit des recherches sur la direction du courant induit trouvée par le moyen de l'échauffement, je me suis cru obligé de répéter encore une fois mes expériences. Dans le cas des circuits fermés, j'ai employé le galvanomètre ; les indications de cet instrument ne peuvent pas induire en erreur, et j'ai trouvé encore dernièrement les mêmes résultats. Dans le cas des circuits ouverts, je ne pouvais employer le galvanomètre, et je n'avais à me décider qu'entre la magnétisation et le trou pratiqué dans le papier par l'étincelle. Tout physicien qui a fait quelques expériences sur la magnétisation produite par la décharge de la bouteille, se convaincra aisément de toute l'incertitude de cette méthode. J'ai donc répété le plus que je l'ai pu l'expérience de Lullin, en faisant varier la distance entre les deux pointes métalliques, leur nature, la quantité de la charge, la grosseur du papier. J'ai encore rapporté, dans mes Leçons de physique, quelques expériences sur ce sujet. Le trou se forme constamment en contact avec l'extrémité négative. Tant que le papier est sec, tant que les pointes métalliques sont bien en contact avec le papier même, et que celui-ci est sensiblement homogène dans l'intervalle entre les deux pointes, ce résultat est constant. Si le papier devient humide, si les deux pointes ne touchent pas le papier, si la charge est très-grande, de sorte que la distance entre les deux pointes dépasse 10 ou 15 millimètres, c'est alors seulement que le trou n'est plus précisément sous la pointe négative ; il s'en éloigne tant soit peu, et, dans chaque cas, on voit d'autres trous intermédiaires plus petits. Je conclurai donc que les résultats déduits de mes premières expériences, sur la direction du courant secondaire dans le cas des circuits ouverts, sont exacts ; et je regarde comme démontré par les expériences que, entre deux circuits ouverts, le courant induit par une

décharge est, en direction, contraire à la décharge, et que l'opposé a lieu dans le cas d'un circuit fermé et de l'autre ouvert.

SUR LA CULTURE ÉLECTRIQUE, par Mr. C.-V. WALKER.
(*Ann. of Electricity*, octobre 1845.)

Dans son mémoire sur ce sujet, le révérend Sydney a fait allusion à certaines expériences du professeur Solly, qui se poursuivaient alors aux jardins de Chiswick. Le professeur Solly avait dit, au mois de juin dernier, à l'Association britannique, que les graines de froment, de seigle, d'orge, de rave et de navet croissaient plus promptement et étaient plus vigoureuses lorsqu'elles étaient exposées à un faible courant électrique, que lorsqu'elles n'étaient point exposées à cette action. D'autres graines donnaient, selon lui, des résultats parfaitement contraires; sur 55 expériences faites avec différentes graines, 21 étaient en faveur de l'emploi de l'électricité, 10 y étaient contraires, 25 étaient neutres. Dans toutes ces expériences les graines étaient plantées entre une plaque de zinc et une plaque de cuivre ensevelies dans le sol. A tout prendre, il y avait du doute si les effets observés étaient réellement dus à l'électricité. Je visitai les plantes au mois d'août et au mois de septembre, en compagnie de Mr. Solly, et, comme lui, j'éprouvai du doute sur la part qu'on peut attribuer à l'électricité relativement à l'apparence plus ou moins vigoureuse des plantes soumises à l'expérience. Je ne puis envisager ces expériences comme concluantes, ni dans un sens ni dans l'autre.

[1] Voy. *Archives de l'Electricité*, n° 19 (tome V), page 404.

Les courants voltaïques sont produits par une plaque de zinc et une plaque de cuivre de six pouces carrés, placées de chaque côté des graines. Mr. Solly suggère l'idée que la partie inférieure des plaques étant nécessairement dans un sol un peu plus humide, une grande partie de l'action électrique peut avoir passé *au-dessous* des graines pendant la germination. Sur quatre carreaux de pommes de terre, le premier croît de la manière ordinaire; le second présente des fils métalliques de 12 pieds de haut, dont les extrémités inférieures sont enfoncées en terre, et dont les extrémités supérieures sont tournées vers le ciel; le troisième a des fils métalliques tendus à quelques pieds de terre, desquels partent d'autres fils dirigés vers les plantes; le quatrième a des plaques métalliques ensevelies à chaque extrémité; ce dernier semble être le carreau le plus vigoureux, à en juger du moins par l'extérieur. Il y a aussi un carreau d'orge semé et cultivé de la manière ordinaire, et un autre carreau d'orge qui est entouré de fil métallique, d'après la disposition imaginée par Mr. Forster; ce fil est réuni à deux autres fils qui montent le long de deux perches, et se terminent en haut par plusieurs pointes; ces carreaux ont été tous les deux endommagés par la pluie, et il n'existe pas de différence appréciable entre eux [1].

[1] Il résulte évidemment des observations de Mr. Walker, que jusqu'ici rien ne peut établir d'une manière tant soit peu péremptoire l'influence de l'électricité sur la végétation. (R.)

SUR LA THÉORIE DE GROTTHUS SUR LA DÉCOMPOSITION ET LA RECOMPOSITION MOLÉCULAIRE, par W.-R. GROVE. (*Phil. Mag.*, novembre 1845.)

Grotthus explique, par la supposition d'une série de décompositions et de recompositions moléculaires, le grand mystère du voltaïsme, soit le phénomène que deux molécules constituantes d'un composé chimique sont éliminées à des points éloignés, sans aucun dérangement apparent dans le liquide intermédiaire. Cette théorie a été adoptée presque généralement par les électro-chimistes; j'en ai fréquemment fait usage dans mes cours, et j'en ai même fait l'application, quoique avec quelque hésitation, à l'action de la batterie à gaz. J'ai toujours cherché, autant que possible, à expliquer des phénomènes nouveaux par des théories reçues, l'un des principaux buts des théories étant de réunir les faits d'une manière qui puisse en donner l'explication, tandis qu'une multitude de théories introduit l'anarchie dans la science.

J'ai été, toutefois, frappé dernièrement de l'objection que la batterie à gaz présente contre la théorie de Grotthus; j'ai trouvé en d'autres termes, qu'elle nous place dans un dilemme qui nous oblige à abandonner soit cette théorie, soit les lois généralement admises sur l'affinité chimique. La difficulté est celle-ci: Il faut admettre, selon la théorie de Grotthus, que dans *une seule paire* de la batterie à gaz l'oxigène et l'hydrogène séparent violemment l'oxigène et l'hydrogène déjà unis; car, soit que nous supposions que l'action commence à l'une quelconque des deux extrémités de l'électrolyte, soit que nous supposions qu'elle commence aux deux extrémités à la fois, la théorie admet que la force qui produit la composition de l'eau est suffi-

samment énergique pour surmonter la force par laquelle ses molécules constituantes sont déjà unies, ce qui revient à dire qu'une force est égale et inégale en même temps à une autre force.

La batterie à gaz présente aussi des cas où, suivant cette théorie, une affinité plus faible surmonte une affinité plus énergique, comme lorsque l'eau est l'électrolyte, et le deutoxide d'azote et l'oxigène sont les gaz qui se dégagent; nous avons aussi, en chimie, des exemples où l'ordre des affinités est renversé, comme dans la décomposition de l'eau par le fer, et de l'oxide de fer par l'hydrogène, en supposant que l'oxide est le même dans les deux cas, ce qui est très-douteux. Mais nous n'avons aucun exemple, que je sache, de l'identité entre des affinités dont l'une produit une décomposition, et dont l'autre au contraire maintient le composé; comme le serait, par exemple, l'affinité de l'oxigène pour l'hydrogène, devenant capable de décomposer l'eau, et celle de l'oxigène pour le fer, produisant la décomposition de l'oxide de fer. La même difficulté ne s'élève point lorsque l'eau est décomposée aux électrodes par une série de couples de la batterie à gaz; en effet, si on met de côté toute théorie quant au transport qui a lieu dans les cellules de la batterie, il n'y a rien de contradictoire dans ce fait que la force accumulée d'une série d'affinités puisse vaincre une affinité égale ou même plus forte lorsqu'elle est considérée isolément, de la même manière que nous décomposons de la potasse par une série accumulée des affinités du zinc pour l'oxigène; mais dans un simple couple il ne peut y avoir d'accroissement d'intensité.

On dira peut-être que le platine en poudre augmente les énergies chimiques des gaz, mais je crois que ce n'est pas d'accord avec ce que nous connaissons de l'action catalytique du platine. Tous les faits observés tendent à prouver que le platine réduit les gaz à un état analogue à l'état naissant, c'est-à-dire à l'état où leurs énergies chimiques spécifiques sont au

plus haut degré ; ainsi le platine permet à l'oxigène gazeux de se combiner avec l'hydrogène gazeux, mais il ne donne pas à l'oxigène les affinités du chlore, ni à l'hydrogène celles du potassium. Cette hypothèse, alors même qu'elle serait admise, ne nous sortirait pas de la difficulté ; en effet, quelque pouvoir spécifique que possède le platine relativement au gaz, il doit le posséder également par rapport à l'électrolyte ; on ne peut donc guère supposer qu'il vienne en aide à la combinaison, et cependant qu'il n'empêche pas la décomposition de la même molécule.

On ne peut supposer non plus que l'action du liquide dans les cellules de la batterie à gaz diffère des autres cas analogues d'électrolyse ; la ligne suivant laquelle s'opère la décharge de la batterie à gaz affecte l'aimant, et il serait contraire à toute analogie de la supposer exceptionnelle quant à son mode d'action, puisqu'elle forme une partie du circuit voltaïque. On pourrait former une hypothèse d'après laquelle l'action de la batterie à gaz résulterait de la formation d'un peroxide soluble d'hydrogène et d'un perhydrure d'oxigène ; mais si tel était le cas, il faudrait étendre cette hypothèse à tous les cas d'électrolyse, point de vue qui présenterait bien des difficultés. Peut-être quelques-uns de vos correspondants parviendront-ils à résoudre le problème ; car, tant qu'elle n'est pas d'accord avec tous les faits, la théorie de Grotthus, tout ingénieuse et utile qu'elle puisse être, n'est qu'une théorie, tandis que la batterie à gaz est un fait ; et, en cas de collision, il est facile de prévoir lequel l'emportera, du fait, ou de la théorie.

Observations du Rédacteur.

Nous ne croyons pas l'objection de Mr. Grove aussi forte qu'il semble le présumer lui-même. L'oxigène dissous dans l'eau agit, sous l'influence du platine, sur l'hydrogène de l'eau ; d'autre part, sous la même influence l'hydrogène qui fait partie du

couple agit sur l'oxigène de l'eau. Ces deux actions, qui chacune séparément ne parviendraient pas à décomposer l'eau, peuvent, quand elles ont lieu simultanément, produire ce résultat. En effet, l'oxigène de la molécule d'eau qui tend à s'unir à l'hydrogène gazeux sous l'influence du platine, n'a pas à combattre, pour obéir à cette tendance, la simple affinité de l'hydrogène avec lequel elle est unie, mais cette affinité amoindrie par l'action qu'exerce sur ce même hydrogène, sous l'influence du platine, l'oxigène dissous. Il n'est donc pas étonnant que la décomposition de l'eau puisse avoir lieu sous l'empire de ces deux actions, dont les effets s'ajoutent.—Quant à l'exemple tiré de la décomposition de l'eau opérée par le fer, et de celle de l'oxide de fer opérée par l'hydrogène, il faut remarquer que ce n'est point à la même température que les deux effets ont lieu ; or on sait combien la température modifie les affinités.

Au reste, nous ne voulons point nier qu'il n'y ait encore beaucoup d'obscurité dans les idées qu'on se fait sur le mode d'action de la force qu'on nomme affinité, et que sur ce point la science n'ait encore de bien grands pas à faire.

A. DE LA RIVE.

SUR L'ÉCLAIRAGE DES MINES AU MOYEN DE L'ÉLECTRICITÉ.

Nous réunissons sous ce titre trois notes qui ont paru, les deux premières dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris*, du 1er et du 15 septembre, la troisième dans le *Phil. Mag.* du mois de décembre 1845. Ce ne sont encore, il faut en convenir, que des aperçus sur le sujet ; plus tard, il faut l'espérer, ces aperçus prendront plus de consistance, et pourront donner lieu à des applications pratiques.

I. *Expériences constatant l'efficacité des lampes de Davy dans des mélanges d'air et de vapeurs inflammables émanant de liquides très-volatils; — Emploi de la lumière produite par la pile dans une atmosphère détonante.* Lettre de Mr. Boussingault à Mr. Arago.

Le 16 juin dernier, une explosion de grisou a eu lieu dans une galerie de roulage de la mine Madelaine, à 108 mètres du puits, et là où rien ne pouvait faire présumer la présence du gaz. C'est d'ailleurs la première fois qu'un accident grave est arrivé dans ces travaux. Depuis ce malheureux événement, la prudence exige l'emploi général des lampes de Davy, emploi qui, jusqu'à présent, était limité à l'éclairage de quelques tailles suspectes.

Avant de mettre ces lampes entre les mains de tous les mineurs, j'ai voulu les éprouver toutes, et ce sont ces essais dont je crois devoir vous entretenir, parce qu'il est possible que les observations auxquelles je me suis livré ne restent pas sans utilité.

Le tissu métallique qui entoure la mèche de ces lampes de *Davy*, porte 144 mailles par centimètre carré. Toutes ces lampes, plongées et maintenues dans divers mélanges d'air et de gaz hydrogène, ont parfaitement supporté les épreuves.

Ces essais, très-rassurants en eux-mêmes, étaient à peine terminés, qu'il m'est survenu un scrupule. Je me suis demandé si des lampes, qui fonctionnent si bien dans l'air mêlé d'hydrogène, présenteraient encore la même sécurité si elles étaient placées dans des mélanges d'air et de vapeurs inflammables émanant de liquides très-volatils. Ce scrupule était né de la présence possible de vapeurs de naphte dans l'atmosphère des mines de pétrole. Mes premières expériences ont été faites sur de l'air en contact avec un liquide des plus volatils et des plus combustibles, l'éther sulfurique. Voici comment j'ai opéré : Je

prends un vase cylindrique en fer-blanc, de 35 centimètres de profondeur et de 11 centimètres de diamètre. Sur la paroi, à 2 centimètres au-dessus du fond, est adapté un tube très-court ayant 1 centimètre de diamètre; ce tube donne accès à l'air. Je verse du liquide volatil dans le cylindre jusqu'à ce que le fond en soit recouvert sur une hauteur de 1 centimètre. Les choses étant ainsi disposées, et la température ambiante se trouvant de 22 degrés, j'ai reconnu que la base de la flamme d'une lampe ordinaire que l'on descend dans le cylindre, communique le feu au mélange de vapeur et d'air quand elle arrive à 25 centimètres de la surface du liquide; il se fait alors une explosion.

Dans les mêmes circonstances, si l'on introduit dans le cylindre la même lampe garnie de son enveloppe, on ne parvient pas à allumer les vapeurs d'éther; quand la flamme pénètre dans la zone inflammable, on entend une suite de faibles détonations; en dépassant cette première zone, on voit la flamme s'allonger et occuper presque entièrement l'espace compris entre le tissu; les détonations deviennent un peu plus intenses, la lampe s'échauffe considérablement. Plus bas encore, dans le voisinage même du liquide, la flamme disparaît; il suffit cependant de hausser la lampe pour faire reparaître la lumière; mais, si on la maintient pendant quelque temps dans cette zone inférieure où la flamme s'affaiblit, on finit par l'éteindre complétement. Ce sont là, à très-peu près, les divers symptômes que présente une lampe de sûreté quand on la porte dans l'atmosphère explosive d'une galerie de mine. Le naphte a offert des phénomènes entièrement semblables à ceux observés avec l'éther. L'alcool, l'essence de térébenthine se comportent d'une manière analogue; mais comme ces liquides ont une tension assez faible, il faut les chauffer pour obtenir des effets bien prononcés. En résumé, je me suis convaincu, par de nombreuses expériences, que la flamme de la lampe de Davy n'allume pas les vapeurs d'éther, de naphte, d'alcool, d'essence de térébenthine, soit que ces vapeurs émanent de liquides qui sont à la température

ordinaire, soit qu'elles proviennent des mêmes liquides en ébullition. Ces résultats pouvaient être prévus sans doute; vous conviendrez néanmoins qu'il était bon de les constater, et si je les ai jugés dignes d'attirer votre attention, c'est que je les crois susceptibles d'applications utiles. L'appareil qui m'a servi me semble très-convenable pour éprouver les lampes de Davy. On ne saurait nier, en effet, que les accidents qui surviennent dans les travaux où ces lampes sont en usage ne soient dus, dans quelques cas, à des déchirures, à des dérangements survenus dans les mailles du tissu métallique. Tout le monde comprend d'ailleurs l'opportunité de vérifier de temps à autre l'efficacité des lampes de sûreté; et si cette vérification ne se fait pas, c'est qu'on a rarement à sa disposition les moyens de préparer des mélanges gazeux explosifs. Or, dans un cylindre tel que celui que j'ai décrit, on peut éprouver rapidement un grand nombre de lampes, et cela sans aucun embarras, presque sans aucune dépense, en employant une substance que l'on trouve partout, qui se conserve aisément, l'éther sulfurique. Une des causes les plus communes d'incendie est, vous le savez, l'imprudence avec laquelle on approche une lumière de liquides inflammables; trop fréquemment, le feu se déclare dans les caves où l'on transvase de l'esprit-de-vin, des huiles essentielles. Les faits que j'ai rapportés établissent que les accidents de ce genre n'arriveraient pas si l'on prenait la précaution bien simple de n'approcher de ces matières qu'avec une lampe de Davy. A la lumière d'une telle lampe on pourrait, j'en ai la conviction, transvaser même de l'éther sans courir le moindre danger. Voici, à ce sujet, une expérience qui n'est pas sans intérêt :

Je fais écouler de l'éther, contenu dans un réservoir, par un tube ayant 2 millimètres de diamètre. En approchant la lumière d'une bougie à quelques centimètres de la veine fluide, on l'enflamme instantanément. Rien de semblable n'arrive avec la flamme emprisonnée dans l'enveloppe de toile métallique; on entend seulement dans l'intérieur du tissu les petites défla-

grations dont j'ai parlé tout à l'heure ; la lumière s'allonge, mais l'éther continue à couler. On peut même projeter le jet sur le tissu métallique sans parvenir à allumer l'éther ; l'enceinte de la lampe est remplie de flammes, mais ces flammes ne se propagent pas au dehors. En versant de l'éther en abondance sur une lampe de Davy bien allumée, j'ai souvent réussi à éteindre la lampe, mais je ne suis pas encore parvenu à mettre le feu à l'éther.

La sécurité que présente la lampe de Davy dans les mines sujettes au grisou est très-grande, sans doute, mais cette sécurité n'est pas absolue. Un air trop agité, un courant de gaz hydrogène animé d'une certaine vitesse, comme un *souflard*, et probablement d'autres causes encore indéterminées, peuvent anéantir momentanément l'efficacité de l'enveloppe protectrice, et faire naître des accidents que l'on est peut-être trop disposé à attribuer, dans toutes les circonstances, à l'imprudence des ouvriers ou à l'imperfection des appareils.

A une époque où l'on songe activement à utiliser la pile voltaïque pour l'éclairage des villes, il est permis d'espérer que, bientôt, les travaux souterrains recevront une lumière qui naît et se maintient dans le vide, sans que, pour l'entretenir, il soit nécessaire d'alimenter un foyer de combustion avec une atmosphère qui n'est que trop souvent explosive. La pile de Grove, celle de Bunsen, qui, avec quarante-huit couples seulement, et en consommant par heure 1 fr. 20 c. de matériaux, donne une lumière égale à celle de cinq ou six cents bougies stéariques, semblent résoudre la question économique, quelque large que soit la part des incertitudes inhérentes à ce genre d'évaluation.

N'oublions pas, d'ailleurs, qu'à côté de la question industrielle se trouve une question d'humanité : en Europe, chaque jour, un homme périt par le feu grisou.

N'ayant pas à ma disposition de pile de Bunsen, je me suis servi, dans mes essais, d'une pile à éléments zinc et cuivre, construite, avec une rare perfection, par Mr. Münch, directeur

de l'Ecole industrielle de Strasbourg. Avec cette pile, j'ai pu me convaincre que le courant qui s'établit entre deux pointes de charbon placées, soit dans le vide, soit sous l'eau, produit un jet de lumière que l'on peut porter, sans la moindre crainte, dans une atmosphère détonante.

Conviendra-t-il de construire de petits appareils portatifs donnant juste assez de clarté pour éclairer une taille, ou bien sera t-il plus avantageux d'établir dans les travaux, sur des points bien ventilés, des foyers intenses d'où l'on répartirait ensuite la lumière à l'aide de réflecteurs?

J'aborde là un sujet de photométrie qui vous regarde particulièrement. Si je n'ai pas donné plus d'extension à mes expériences, c'est que, ma pile n'étant pas à courant constant, je n'obtiens pas une lumière assez constante. Je me propose de reprendre mes essais quand j'aurai pu me procurer des appareils convenables, et surtout quand je pourrai mettre à profit les conseils bienveillants de mes honorables confrères.

II. *Sur l'éclairage des mines au moyen de la lampe électrique.* (Lettre de Mr. DE LA RIVE à Mr. Boussingault.)

Je vois par le *Compte rendu des séances de l'Académie*, que vous vous êtes occupé de rechercher les moyens d'employer la pile voltaïque à éclairer les mineurs. Ce sujet m'occupe aussi depuis longtemps. J'ai fait plusieurs tentatives qui n'ont pas toutes été également heureuses; mais dernièrement j'ai eu plus de succès, et je suis sur la voie d'un procédé que je crois être à la fois économique et fort commode. La pile que j'emploie est formée de plusieurs cylindres concentriques de *cuivre* ou de *platine*, séparés les uns des autres par des cylindres poreux, de manière à former quatre ou cinq couples en série; le métal positif est un amalgame de zinc liquide, et encore mieux un amalgame de potassium; le liquide est une solution de sulfate

de cuivre, dans le cas où le métal négatif est le cuivre, et de chlorure de platine dans le cas où c'est le platine.

Une des plus grandes difficultés, c'est d'avoir de la constance dans la lumière. Je n'y suis pas encore parfaitement parvenu ; toutefois j'ai déjà beaucoup gagné en employant de petits cylindres creux et minces de coke, analogues à ceux qu'on emploie dans les piles de Bunsen, si ce n'est que leurs dimensions sont beaucoup moindres, et en disposant ces cylindres comme les mèches dans une lampe. Un anneau ou un disque épais de métal, de même diamètre que le cylindre de charbon, est disposé au-dessus de celui-ci, de façon que le courant électrique s'échappe entre eux deux. Il faut avoir soin que le courant aille du cylindre de charbon qui est au-dessous, au conducteur métallique qui est au-dessus, afin que les particules de charbon, transportées de bas en haut, retombent par leur propre poids. Le tout, c'est-à-dire le cylindre de charbon et les ajutages métalliques qui le portent, ainsi que l'anneau ou le disque qui servent de conducteur, est placé dans un petit ballon de verre fermé hermétiquement. Il n'est pas nécessaire d'y faire le vide, parce que le peu d'oxigène qui y est renfermé est bien vite absorbé par le charbon incandescent ; mais il faut avoir soin que toute communication avec l'air extérieur soit bien interceptée. Quant à la pile, on l'ajuste en dehors du ballon à deux tiges métalliques qui communiquent, l'une avec le cylindre de charbon, l'autre avec le conducteur métallique. On peut la changer ou la charger de nouveau, sans rien déranger à l'arrangement intérieur.

Suivant la force de la pile, il est bon d'employer deux pointes ou deux cylindres de charbon, plutôt qu'un seul, à un conducteur métallique. La préparation du charbon a aussi une grande importance ; j'ai fait plusieurs essais sur ce point, et je ne suis pas encore complétement fixé.

III. *De l'application de la puissance incandescente de l'électricité voltaïque à l'éclairage des mines.* (Lettre Mr. A. Grove à Mr. R. Philipps.)

..... Il y a cinq ans qu'après avoir fait connaître la batterie à acide nitrique, je fus naturellement conduit, par la constance que présente cette combinaison voltaïque et par la facilité avec laquelle on peut se la procurer, à faire des essais pour l'appliquer à l'éclairage; mais ces premiers essais ne furent pas très-heureux. En prenant certaines précautions dans le détail desquelles je n'entrerai pas, je réussis à me procurer quelquefois, pendant quatre ou cinq heures, une lumière assez égale dans de l'azote raréfié. Mais il y avait toujours de l'incertitude dans ce mode d'éclairage: par l'effet de l'imperfection du charbon ou par quelque autre cause, la lumière disparaissait tout à coup; les parois du vase dans lequel l'incandescence avait lieu, se ternissaient par l'effet du dépôt de la vapeur de charbon qui s'y condensait. Le système était d'ailleurs coûteux à cause du nombre des couples, et par conséquent des équivalents de zinc et d'acide consommés. Peu transportable à cause de sa grandeur, l'appareil présente en outre l'inconvénient que la grande chaleur à laquelle il était exposé faisait fondre le ciment et les graisses qui servent à sceller les conducteurs et les pièces métalliques ajustées au globe de verre. Mr. de la Rive ne dit pas comment il s'y prend pour sceller hermétiquement le récipient dans lequel la lumière électrique se développe; j'ai trouvé que c'était une des opérations les plus difficiles du procédé [1]. Après avoir cherché inutilement à surmonter ces difficultés, j'abandonnai pour le moment ce procédé, et je fis quelques expériences en appli-

[1] Mon appareil est construit de façon à éviter le plus que je puis l'emploi du ciment ou de la graisse; les conducteurs ont de gros diamètres afin qu'ils se réchauffent le moins possible. Je donnerai, du reste, incessamment la description complète de cet appareil. (A. de la Rive.)

quant l'électricité voltaïque à un autre mode d'éclairage qui me paraissait plus applicable aux mines; je l'aurais oublié sans la publication des deux notices qui précèdent.

Le mode auquel je viens de faire allusion est fondé sur l'ignition d'un fil de platine par l'action de l'électricité voltaïque. Tous ceux qui ont vu, dans une leçon expérimentale, un fil de platine rendu incandescent par le courant voltaïque quand il est près de son point de fusion, connaissent le vif éclat de la lumière qu'il émet; quoique inférieur à celui de la lumière des pointes de charbon, il est cependant trop intense pour que des yeux un peu faibles puissent le supporter, et bien suffisant pour éclairer les mineurs dans leurs travaux. Je conçus donc l'idée de faire rougir un fil de platine tourné en hélice, en le chauffant jusqu'à une température aussi rapprochée que possible de son point de fusion, dans un vase bien fermé contenant de l'air atmosphérique ou un autre gaz. Voici la description de l'un des appareils dont je me suis servi dans ce but, et à la lumière duquel j'ai pu lire et faire des expériences pendant quatre heures.

Un fil de platine est fixé par ses extrémités à deux fils de cuivre; les portions de ces fils de cuivre les plus éloignées du platine sont bien vernies et fixées verticalement dans un vase rempli d'eau distillée; un autre verre cylindrique est placé au-dessus de l'hélice, de façon que son ouverture repose sur le fond du premier. Les bouts des fils de cuivre sont mis en communication avec les pôles d'une batterie de deux ou trois paires à acide nitrique; le fil de platine rendu incandescent donne une jolie lumière qui dure sans altération et sans diminution tant que la force de la batterie reste constante, c'est-à-dire tant qu'elle renferme une quantité suffisante de liquide électrolytique. Au lieu de faire passer les fils de cuivre à travers l'eau, on peut les fixer à des ajutages métalliques qu'on scelle aux deux tubulures d'un ballon de verre.

Il faut que les spires de l'hélice de platine soient aussi rapprochées que possible, afin de faciliter leur réchauffement réci-

proque, et de diminuer ainsi l'influence refroidissante du gaz ambiant. Il ne faut pas que le fil lui-même soit trop fin, car il n'entrerait pas bien en ignition; il ne faut pas non plus qu'il soit trop gros, car il ne présenterait pas une résistance suffisante, et les matériaux de la batterie seraient trop vite consommés; par la même raison il faut le faire aussi long que la force de la batterie le permet pour le mettre en pleine incandescence.

La forme en hélice présente cet avantage, c'est que, en diminuant les causes de refroidissement, elle permet à la même batterie de tenir en ignition un fil beaucoup plus long; il en résulte non-seulement un accroissement de lumière, mais une diminution dans la dépense de la batterie, à cause de l'augmentation de résistance. L'accroissement dans l'intensité de la chaleur, en augmentant aussi la résistance, diminue également la consommation des matériaux de la pile, de sorte que, contrairement à ce qui se passe ordinairement, l'augmentation de dépense diminue avec l'accroissement de l'effet qui est produit. La nécessité où l'on est de renfermer l'hélice dans un vase de verre clos, accroît la chaleur, la lumière et la résistance.

Si je m'en souviens, Mr. Faraday est le premier qui ait proposé de renfermer un fil dans un tube en vue de pouvoir en faire rougir une portion plus longue. Au moyen des dispositions que je viens de décrire, on n'a besoin que de deux ou trois paires voltaïques; une seule même peut être suffisante; l'appareil devient ainsi économique et portatif.

Comme l'effet des différents gaz sur la chaleur rayonnante est un élément important dans l'application pratique du sujet qui nous occupe, j'avais commencé quelques observations sur ce sujet, et je trouve dans mon livre de notes les expériences suivantes.—Un voltamètre placé dans le circuit indiquait l'état plus ou moins considérable d'incandescence du fil parce que, selon Davy, un fil métallique est d'autant plus mauvais conducteur que sa température est plus élevée; d'où il résulte que la quantité de gaz dégagée dans le voltamètre doit être en raison inverse du degré d'incandescence du fil.

Voici les résultats des expériences faites en mettant en ignition, par le courant d'une batterie à force constante, un fil de platine dans différents milieux :

Milieux.	Effets à l'œil.	Temps nécessaire pour le dégagement de 10 pouc. cub. de gaz au voltamètre.
Hydrogène	Non visible, même dans l'obscurité. . .	19″
Acide carbonique. .	Rouge cerise	21″,5
Oxigène.	Incandescent.	23″,5
Azote	Idem	24″
Air atmosphérique.	Idem	24″

J'avais l'intention de pousser ces expériences plus loin, et de faire également usage d'air condensé et raréfié ; mais, comme je les ai interrompues, j'ai pensé ne pouvoir mieux faire que de faire connaître les résultats auxquels j'étais parvenu [1].

NOUVELLE MÉTHODE DE PRODUIRE L'ÉLECTRICITÉ PAR LA DÉCHARGE D'UN FUSIL, par Mr. ELICE. (Lettres adressées à Mr. Dentone.)

Première lettre.

La manière dont vous avez bien voulu accueillir les expériences que je vous ai transmises sur l'électricité que j'avais obtenue du café et d'autres graines, m'encourage à vous faire part des

[1] Je ne serais pas étonné que les différents gaz exerçassent une action spécifique sur les fils incandescents, dans le genre de l'action catalytique. Lorsqu'un fil est amené par le courant voltaïque à la chaleur rouge blanc dans l'air atmosphérique, et qu'on le recouvre d'un vase rempli d'hydrogène, la lumière disparaît subitement de la même manière que serait éteinte dans les mêmes circonstances la flamme d'une chandelle. (A.)

résultats que j'ai obtenus en employant la poudre à canon comme cause productrice d'électricité.

J'isolai un disque de cuivre du diamètre de trois décimètres, et je le mis en communication par le moyen d'un fil de laiton avec l'électromètre de Volta ; je dirigeai ensuite un coup de fusil contre ce disque à la distance d'environ un demi-mètre : je remarquai aussitôt que l'électromètre était fortement électrisé positivement. Le fusil était chargé d'un gramme de poudre sans bourre ; le temps était sec et froid. Je répétai l'expérience avec cette différence que, au lieu de me servir de l'électromètre je ne mis en communication que le plateau collecteur du condensateur, que j'isolai avec un cordon de soie ; et ayant répandu comme auparavant sur le disque de cuivre une petite quantité de poudre, j'obtins visiblement l'étincelle électrique lorsque j'approchai le doigt du plateau collecteur. Je répétai plusieurs fois ces expériences, tantôt avec des disques d'étain, de verre, de colophane, de bois, de papier, de carton, etc., d'égale grandeur ; d'autres fois encore je remplaçai le disque par un morceau de soie, de drap, de cuir, ou par une éponge ou un morceau de coton des mêmes dimensions à peu près que les disques, et cela avec plus ou moins de succès. Ce qui mérite le plus d'être remarqué dans cette série d'expériences, c'est que tous les corps que j'ai employés, même la colophane, prennent l'électricité positive, et que l'électricité des condensateurs, aussi bien que celle des conducteurs, se perd instantanément, quoique les uns et les autres soient isolés.

Je voulus m'assurer si le fusil s'était électrisé, et de quelle nature était l'électricité qu'il aurait pu acquérir ; je l'isolai donc avec des cordons de soie, et lorsqu'il fut chargé je le mis en communication avec l'électromètre ; je le déchargeai, mais ce ne fut qu'après trois tentatives inutiles que j'obtins une légère divergence des feuilles de l'électromètre.

J'aurais voulu faire ces expériences avec un fusil d'un plus gros calibre, augmenter la charge et la bourrer, et varier aussi

les autres circonstances des expériences ; mais la crainte d'incommoder les personnes qui demeurent dans mon voisinage, ne m'a pas jusqu'ici permis de le faire ; j'espère pouvoir exécuter ce projet chez moi à la campagne.

On pourrait aussi faire une expérience en grand avec une forte charge de poudre, en employant plusieurs fusils au lieu d'un seul, et en augmentant à proportion le nombre et la grandeur des disques. On devrait dans ce cas obtenir une quantité d'électricité très-considérable, capable de former une foudre artificielle.

On peut également obtenir de l'électricité avec le fusil pneumatique (à vent) ; je le bourrai tantôt avec du papier, tantôt avec du carton, tantôt avec de la bourre, tantôt encore avec deux de ces substances ou avec toutes les trois ; j'obtins l'électricité positive en dirigeant le coup sur des disques du diamètre de deux centimètres de cuivre, de bois, de feutre, etc., que j'employai tour à tour.

Lorsque je ne faisais qu'enflammer un gramme ou deux, ou davantage, de poudre, sur le capuchon de l'électromètre, je n'obtenais aucun indice d'électricité.

Seconde lettre.

J'obtenais un développement d'électricité plus considérable lorsque je déchargeais le fusil à un demi-mètre de distance, que lorsque je me plaçais à une distance plus considérable ; le fusil était chargé d'environ un gramme de poudre et sans bourre. Toutes les fois que je bourrai le fusil avec des substances ou conductrices ou isolantes, tantôt séparées tantôt réunies, j'obtins le plus souvent dans le disque contre lequel le coup était dirigé, des signes électriques plus ou moins intenses, suivant que l'ouverture du fusil était plus ou moins rapprochée du disque, suivant aussi la qualité des substances dont le disque était composé, etc.

Lorsque je tirais le coup contre le disque avec le fusil pneumatique sans bourre, le disque s'électrisait presque toujours plus ou moins, selon le degré de condensation de l'air qui se trouvait dans le canon du fusil, et suivant le degré de proximité de la bouche du canon relativement à la substance dont était composée le disque, le degré de siccité de l'air ambiant, etc. Les signes électriques que j'obtins avec le fusil pneumatique étaient plus intenses lorsque je l'avais bourré. Chaque fois que je déchargeai ce fusil sans l'avoir bourré, et à la distance de plus d'un mètre, je n'obtins point d'indices d'électricité; il s'en manifesta constamment à la distance de deux décimètres.

L'électricité obtenue du disque avec le fusil à vent était moins prononcée que celle que j'obtenais avec un fusil ordinaire; mais elle était toujours positive même avec le disque de colophane.

Il m'est arrivé qu'en dirigeant le coup contre le disque, tantôt avec le fusil à vent, tantôt avec le fusil ordinaire, chargés tous les deux par des corps isolants et des corps conducteurs, le disque ne donnait parfois à l'électromètre aucun signe d'électricité, et quelquefois en manifestait de faibles indices.

Passons maintenant à l'explication des expériences, de celles surtout qui ont été faites avec le fusil ordinaire, avec un gramme environ de poudre, et avec ou sans bourre; cette explication est également applicable aux expériences faites avec le fusil à vent.

L'électricité produite sur le disque, quand on décharge le fusil ordinaire, peut provenir de six sources.

1° Des fluides aériformes qui se développent dans la combustion de la poudre.

2° De la portion de poudre qui n'a pas eu le temps de s'enflammer, et qui heurte l'air et le disque.

3° Du choc des fluides aériformes contre l'air.

4° Du choc de la bourre contre l'air.

5° Du choc de la bourre contre le disque.

6° Du choc de l'air contre le disque.

Si j'examine la première hypothèse, il me semble que les gaz et les vapeurs aqueuses produites par la combustion de la poudre ne peuvent être la cause d'un développement d'électricité capable de produire une étincelle. S'il en était autrement, le fusil, lorsqu'on le décharge isolément, devrait manifester toujours des signes d'électricité plus ou moins sensibles, tandis qu'il n'en est pas ainsi ; il n'y a pas dans ce cas de signes appréciables d'électricité, ce qui prouve que les fluides aériformes développés par la poudre dans le fusil n'étaient pas électrisés ou l'étaient du moins infiniment peu, autrement ils auraient toujours communiqué au fusil une quantité appréciable d'électricité. Il est probable, en outre, que ces fluides aériformes auraient produit dans le disque, en le frappant, une quantité quelconque d'électricité ; il est probable de plus que, vu leur chaleur, les gaz et surtout les vapeurs aqueuses auraient enlevé au disque une quantité d'électricité donnée, et rendu par là son action à peu près nulle. Ces fluides aériformes, de même que l'air atmosphérique qui revient après le choc à son état primitif, sont la cause qui fait que les corps isolants et les conducteurs, quoique isolés, perdent presque en un instant leur électricité, ainsi que je l'ai fait observer dans la première de mes lettres.

Quant à la seconde hypothèse, il me semble que, quoique la petite quantité de poudre qui n'a pas été brûlée ait pu produire des signes d'électricité en heurtant l'air et le disque, il est peu probable que quelques grains de poudre aient pu exciter assez d'électricité pour produire l'étincelle.

En ce qui concerne la troisième hypothèse relativement au choc des fluides aériformes développés dans le fusil, ces fluides heurtent probablement la colonne d'air qui se trouve dans le fusil ; celle-ci aura heurté et mis en mouvement la colonne d'air qui se trouvait devant elle ; ces colonnes, en se mouvant, au-

ront rencontré une certaine résistance qui aura donné lieu à la condensation de leurs particules, desquelles il se sera probablement développé une certaine quantité d'électricité qui est absorbée, en tout ou en partie, par les mêmes particules aériennes quand elles reviennent à leur état primitif; de cette manière il n'aura été communiqué au disque que peu ou point d'électricité.

Quant à la quatrième supposition, il est probable que le choc de la bourre contre l'air excite une petite quantité d'électricité, et que cette même bourre la communique en partie au disque.

Il faut, quant à la cinquième supposition, envisager d'abord le cas où le fusil se décharge contre le disque à distance : le choc de l'air et des grains de poudre contribueront peu alors au développement de l'électricité ; c'est toutefois au choc de la bourre contre le disque lui-même, qu'il faut attribuer ce développement. Il faut envisager, en second lieu, le cas où l'on tire sur le disque à peu de distance : le développement de l'électricité aura là deux causes, le choc de l'air et celui de la bourre, et l'une aura la prépondérance sur l'autre, selon que le fusil sera déchargé plus ou moins près du disque.

Enfin, quant à la sixième hypothèse, c'est-à-dire au choc de l'air contre le disque, je crois que le choc est la cause, sinon unique du moins principale, de l'électricité obtenue lorsqu'on décharge le fusil à un demi-mètre de distance ; car, lorsqu'on le décharge à une petite distance, et que l'air heurte fortement contre le disque, celui-ci s'électrise beaucoup plus que lorsque la décharge a lieu à une plus grande distance, c'est-à-dire lorsque l'air ne heurte pas le disque avec la même force. J'ai également une preuve de la probabilité de cette hypothèse dans l'observation faite quand je me servis du fusil à vent sans bourre ; j'obtins plus d'effet lorsque je dirigeai le coup contre le disque à la distance d'un ou deux décimètres, que lorsque je me plaçai à une distance plus considérable.

Quant au fait que, lorsqu'on décharge le fusil après l'avoir bourré avec des substances isolantes ou conductrices, le disque donne des signes électriques tantôt faibles tantôt nuls, il me semble qu'on peut l'expliquer en supposant qu'une ou plusieurs des substances, en heurtant le disque, ont produit de l'électricité que le choc des autres a enlevée tantôt en partie tantôt en entier ; on comprend alors que le disque ne communique à l'électromètre que l'électricité qu'il a conservée, c'est-à-dire un peu ou point selon les circonstances.

On peut également expliquer de cette manière les expériences que j'ai faites avec le fusil à vent; mais alors il faut faire abstraction de l'électricité qui peut avoir été excitée par la formation instantanée des fluides aériformes, ainsi que par les grains de poudre qui n'ont pas été brûlés.

Il me semble pouvoir conclure de ce que je viens d'exposer, que l'électricité obtenue en déchargeant un fusil ordinaire à la distance d'un demi-mètre environ contre le disque de cuivre ou d'autres substances isolantes ou conductrices, est due principalement au choc de l'air contre le disque ; et que l'électricité que j'obtiens en dirigeant un coup tiré avec le fusil à vent contre le même disque à la distance de deux décimètres, est due principalement à la même cause.

SUR LA RELATION DE L'OZÔNE AVEC L'ACIDE HYPONITRIQUE, par C.-F. SCHŒNBEIN.

Les effets chimiques auxquels donne naissance l'air atmosphérique mélangé avec une petite proportion d'acide hyponitrique, offrent une si grande ressemblance avec ceux que produit de l'air atmosphérique ozonisé, que plusieurs chimistes

ont cru pouvoir en conclure que l'ozône et l'acide hyponitrique étaient identiques. Ainsi, l'un et l'autre mélange décomposent l'iodure de potassium, bleuissent la résine de gaïac, transforment le ferro-cyanure de potassium en sesqui-ferrocyanure, décomposent l'hydrogène sulfuré, blanchissent les couleurs végétales, donnent au platine la polarité négative, etc.

Quoique ces propriétés et d'autres encore leur soient communes, l'ozône et l'acide hyponitrique offrent des différences si essentielles qu'il est impossible de songer à les confondre, et d'autant moins que l'ozône se forme dans des circonstances où l'azote, l'une des parties constituantes de l'acide hyponitrique, n'existe pas.

Cependant la ressemblance frappante que les deux substances en question présentent sous le rapport chimique dans un si grand nombre de cas, m'avait fait présumer depuis longtemps qu'elles pourraient bien avoir entre elles quelque relation. Une série d'expériences, que j'ai entreprises dans le but de découvrir cette relation, m'ont conduit à des résultats qui me paraissent confirmer l'opinion que j'ai énoncée ci-dessus.

Dans mon mémoire *sur les degrés d'oxidation de l'azote*, j'ai essayé de faire voir qu'il est vraisemblable que lorsque l'eau agit sur l'acide hyponitrique il se forme, outre l'acide nitrique hydraté, une combinaison représentée par $NO_2 + HO_2$, à laquelle j'ai donné le nom de peroxide d'azote et d'hydrogène. C'est à la présence de cette substance dans un mélange d'acide hyponitrique et d'eau que j'ai attribué aussi le fait que ce mélange décompose l'iodure de potassium, bleuit la résine de gaïac, etc., et en général possède un pouvoir d'oxidation si remarquable. Or on ne pourra mettre en doute que la vapeur d'eau n'exerce sur l'acide hyponitrique à l'état de vapeur, une action exactement semblable à celle qu'exerce l'eau à l'état liquide sur l'acide hyponitrique liquide; si donc ces deux derniers corps donnent naissance à de l'acide nitrique hydraté et à du peroxide d'azote et d'hydrogène, les mêmes produits se

montreront également quand on mettra en contact l'acide hyponitrique hydraté et de l'air chargé de vapeur aqueuse. Si le peroxide d'azote et d'hydrogène s'évapore très-aisément, il en résulte, par exemple, que lorsqu'on introduit une petite quantité d'acide hyponitrique à l'état de vapeur dans un flacon rempli d'air, il se formera une atmosphère du peroxide composé, chez laquelle nous devrions retrouver précisément les réactions qui ont été mentionnées ci-dessus. Le peroxide d'hydrogène renfermé dans la combinaison $NO_4 + HO_2$ serait l'agent oxidant qui décomposerait l'iodure de potassium, qui bleuirait la résine de gaïac, etc. Or différentes raisons me portent à croire que l'ozône est le même que HO_2, c'est-à-dire qu'il est isomère avec l'eau oxidée de Thénard. Si cette conjecture est vraie, et qu'il existe réellement une combinaison $NO_2 + HO_2$, l'air atmosphérique chargé de vapeur aqueuse et mélangé avec une petite proportion d'acide hyponitrique devrait également à la présence d'une certaine quantité d'ozône les réactions dont j'ai parlé, et il ne différerait d'un mélange ordinaire d'air atmosphérique et d'ozône, qu'en ce qu'il serait combiné avec une petite proportion de deutoxide d'azote.

Si l'on ozonise aussi fortement que possible, au moyen du phosphore, de l'air atmosphérique renfermé dans un flacon, et qu'ensuite on y tienne suspendu un morceau de carbonate d'ammoniaque, pendant le temps nécessaire pour bleuir dans le même vase une bande de papier de tournesol, cet air atmosphérique continuera de posséder la propriété de bleuir à l'instant une bande de papier imbibée de colle d'iodure de potassium ou d'une solution de résine de gaïac, de blanchir les couleurs végétales, de transformer le ferro-cyanure de potassium en sesqui-ferro cyanure; en un mot, cet air possédera encore toutes les propriétés qui appartiennent à l'ozône. Il résulte de là que ce dernier corps peut subsister, sans altération, à côté des vapeurs du carbonate d'ammoniaque, et je me suis assuré qu'il en est de même avec l'ammoniaque seul. S'il existe une com-

binaison $NO_4 + HO_2$, sa composition permet de conjecturer qu'elle peut aussi, pour quelque temps du moins, exister en présence du carbonate d'ammoniaque, puisque NO_4 n'exerce aucune action sur ce sel. Les faits que je vais rapporter me paraissent de nature à confirmer cette supposition.

De l'acide hyponitrique ou de l'acide nitrique fumant fut mélangé lentement avec une quantité d'eau de plus en plus grande, jusqu'à ce qu'il eût perdu complétement sa couleur. On versa dans un grand flacon rempli d'air une quantité de ce mélange suffisante pour en recouvrir le fond, après quoi l'on suspendit dans le même vase un assez gros morceau de carbonate d'ammoniaque. Lorsque l'air renfermé dans le flacon eut acquis le pouvoir de bleuir immédiatement une bande de papier de tournesol, il continua encore néanmoins à bleuir immédiatement des bandes de papier imbibées de colle d'iodure de potassium ou d'une solution de résine de gaïac ; à blanchir lentement des bandes de papier humectées d'une solution d'indigo ou d'une teinture de tournesol ; à colorer promptement en jaune des bandes de papier humectées d'une faible solution de ferro-cyanure de potassium ; enfin, à recouvrir d'une couche de sesqui-ferro-cyanure un cristal de ce même sel, dans l'espace de 24 heures. Ainsi cette atmosphère exerçait exactement la même action qu'aurait exercée de l'air ozonisé par le procédé ordinaire. D'ailleurs les circonstances dans lesquelles ces réactions ont eu lieu, ne permettent pas de supposer que celles-ci fussent dues à de l'acide hyponitrique ou à de l'acide nitreux, car les vapeurs du carbonate d'ammoniaque ne peuvent pas subsister en présence d'acide hyponitrique ou d'acide nitreux à l'état de vapeur. Il faut donc qu'il y ait eu dans l'atmosphère en question un principe qui agit de la même manière que l'ozône, et qui, malgré la présence de l'ammoniaque, a un pouvoir d'oxidation considérable. Mais si ne n'est pas à de l'acide hyponitrique ou à de l'acide nitreux qu'on peut attribuer les effets en question, et s'il en est de même relative-

ment au nitrite d'ammoniaque, quelle est donc la substance qui produit ces réactions? La seule réponse que je sache faire à cette question, est de conjecturer que c'est le peroxide d'azote et d'hydrogène ($NO_2 + HO_2$) qui est cette matière oxidante. — Comme les réactions dont il s'agit s'affaiblissent ou cessent de se produire au bout de quelque temps, même dans un flacon soigneusement fermé, il se peut que le peroxide ci-dessus se transforme en nitrite d'oxide d'ammonium (2 N et 4 HO).

Avant de passer à un autre fait, j'attirerai l'attention sur une circonstance qui me paraît mériter d'être examinée en regard de la question que j'ai énoncée plus haut. Il suffit d'aspirer deux ou trois fois de l'air fortement ozonisé contenu dans un flacon, pour éprouver un étranglement désagréable dans le voisinage du larynx et dans la poitrine. Cette impression ressemble singulièrement à celle qu'on éprouve lorsqu'on aspire de l'air qui renferme une faible proportion d'acide hyponitrique ou de deutoxide d'azote. J'ajouterai encore que le même effet se produit quand on aspire de l'air qui est au-dessus d'un mélange d'acide hyponitrique et d'eau, et aussi quand cet air est chargé de vapeurs de carbonate d'ammoniaque. On aperçoit, en outre, distinctement, dans cette atmosphère ammoniacale, une odeur désagréable particulière qui ressemble à celle de l'eau-forte ordinaire, et qui rappelle celle du chlore. Peut-être est-elle due à la vapeur du peroxide d'azote et d'hydrogène dont j'ai admis l'existence, et peut-être est-ce ce dernier qui, lorsqu'on le respire, produit l'effet physiologique dont j'ai parlé.

Un point qui me paraît avoir un intérêt particulier dans le sujet en question, c'est la manière dont le mélange d'acide hyponitrique et d'eau se comporte avec une dissolution de ferro-cyanure de potassium. Si c'est un fait démontré par mes expériences que l'ozône transforme ce ferro-cyanure (à l'état solide ou à l'état de dissolution) en sesqui-ferro-cyanure, et si nous

considérons le mélange ci-dessus comme une dissolution d'acide nitrique hydraté et de peroxide d'azote et d'hydrogène, que devrait-il arriver dans le cas où ce mélange serait mis en présence d'une solution du ferro-cyanure de potassium? Si nous admettons que, dans le mélange, un équivalent de peroxide d'azote et d'hydrogène et un d'acide nitrique hydraté agissaient sur deux équivalents du ferro-cyanure, nous devrions obtenir un équivalent de nitrate de potasse, un équivalent du sesqui-ferro-cyanure, un de deutoxide d'azote et deux d'eau;

car $(NO_4 + HO_2) + (NO_5 + HO_2) + 2(2\,PCy + Fe\,Cy) =$
$\dot{P}\dddot{N} + (3\,PCy + Fe_2\,Cy_3) + NO_2 + 2\,HO.$

Si on remplit un tube fermé à l'une de ses extrémités, moitié avec le mélange acide, moitié avec une solution un peu étendue du ferro-cyanure, et qu'on mélange les deux liquides, il se fait un dégagement de gaz extrêmement violent; et si l'on plonge ce tube dans l'eau par son extrémité ouverte, il se rassemble dans la partie supérieure un gaz incolore qui, mélangé avec de l'oxigène ou de l'air atmosphérique, prend une couleur rutilante, et qui se comporte donc comme le deutoxide d'azote. Dès que le liquide acide se mélange avec la dissolution presque incolore du ferro-cyanure, cette dissolution prend une teinte jaune foncé. On peut aisément s'assurer que le liquide coloré renferme du nitrate de potasse et du sesqui-ferro-cyanure, mais aucune trace de ferro-cyanure, pourvu qu'on ait ajouté à la solution de ce sel une quantité suffisante du mélange acide. On ne peut point attribuer à l'acide nitrique renfermé dans ledit mélange le gaz deutoxide d'azote qui se dégage dans ces circonstances, non plus que la transformation du ferro-cyanure en sesqui-ferro-cyanure, car l'acide nitrique pur ou faiblement étendu ne produit aucun des phénomènes que j'ai décrits. Il faut donc chercher dans une autre substance la cause des effets en question; or, comme ni l'acide hyponitrique ni l'acide nitreux ne peuvent subsister en présence de l'eau libre, ce ne

peut être non plus l'un de ces deux acides qui doit être considéré comme la cause des réactions indiquées. Selon moi, l'on peut les expliquer d'une manière bien simple, en admettant dans le mélange acide la présence d'une combinaison $NO_2 + HO_2$.

Mes expériences ont fait voir que de l'iodure de potassium à l'état solide ou en dissolution est décomposé par l'ozône avec dégagement d'iode. Si on joint le mélange acide à une dissolution d'iodure de potassium, il se dégage du deutoxide d'azote en grande abondance, l'iode se précipite sous forme de poudre, et il se forme du nitrate de potasse. De l'acide nitrique pur, qui renferme une proportion d'eau égale à celle de notre mélange acide, ne décompose pas sensiblement une solution d'iodure de potassium pur; aussi l'acide nitrique dudit mélange est-il tout à fait étranger à la production du deutoxide d'azote et à l'oxidation du potassium contenu dans l'iodure de potassium.

Les réactions dont je viens de parler s'expliquent encore, à mon sens, d'une manière tout à fait satisfaisante, si on admet l'existence d'un peroxide d'azote et d'hydrogène, dans le mélange acide que j'ai déjà si souvent mentionné. HO_2 oxide le potassium du sel haloïde, l'acide nitrique forme avec l'oxide un nitrate de potasse, et NO_2 devient libre. Les faits qui vont suivre pourraient bien avoir une relation rapprochée avec le sujet traité dans ce mémoire; je les mentionne d'autant plus volontiers qu'ils sont, je crois, encore inconnus.

Si l'on introduit dans un flacon rempli d'eau distillée une très-petite quantité d'acide hyponitrique à l'état de vapeur, et qu'on agite le liquide, celui-ci acquiert le pouvoir de bleuir la colle d'iodure de potassium, ou de colorer en jaune la solution d'iodure de potassium et celle de ferro-cyanure de potassium. Mais si on ajoute au mélange de l'acide sulfurique, phosphorique ou nitrique pur très-étendu, ou un acide organique très-actif, tel que de l'acide citrique, tartrique, acétique, etc.,

le mélange colorera en bleu foncé la colle d'iodure de potassium, et donnera aux solutions salines une teinte jaune prononcée. La plus faible proportion de protochlorure d'étain, ajoutée à de l'eau qui a été traitée par l'acide hypo-nitrique, enlève à celle-ci le pouvoir de produire les réactions en question dans les circonstances mentionnées plus haut.

Si on agite longtemps avec de l'eau distillée de l'air chargé d'ozône, l'ozône disparaît, et l'on obtient un liquide qui ne peut à lui seul colorer en bleu la colle d'iodure de potassium, mais qui reprend cette propriété dès qu'on y verse un des acides mentionnés plus haut, sulfurique, phosphorique, nitrique, citrique, ou tel autre acide très-étendu. On voit, d'après cela, que l'eau ozonisée se comporte exactement comme de l'eau qu'on a mélangée avec de petites quantités d'acide hyponitrique.

Si l'on met en contact avec divers métaux tels que du zinc, du fer, du cuivre, du mercure et de l'argent, pendant une minute seulement et à la température ordinaire, de l'acide nitrique parfaitement pur, étendu d'une grande proportion d'eau, par exemple de 50 fois son volume, de manière, par conséquent, qu'il ne puisse pas bleuir la colle d'amidon mélangée avec de l'iodure de potassium parfaitement pur, l'acide acquiert la propriété de colorer immédiatement en bleu foncé ladite colle, ou bien de colorer en jaune vif une solution presque incolore du ferro-cyanure de potassium ordinaire, ou bien encore de décomposer l'hydrogène sulfuré, ou de bleuir une solution de résine de gaïac. L'étain fait seul exception; quel que soit l'espace de temps pendant lequel on le laisse séjourner dans l'acide nitrique étendu, non-seulement celui-ci n'acquiert pas la propriété de bleuir la colle d'iodure de potassium, mais il l'enlève encore à celui auquel on l'avait communiquée à l'aide d'un autre métal, quand on les mélange l'un avec l'autre dans des proportions convenables. De plus, la colle d'iodure de potassium qu'on a bleuie par un procédé quelcon-

que, se décolore sous l'influence de l'acide qui a été en contact avec de l'étain.

Ces faits me paraissent démontrer que l'action qu'exercent les métaux oxidables sur de l'acide nitrique très-étendu, donne naissance à la même substance oxidante que l'on obtient par le mélange de l'acide hyponitrique avec l'eau, et que l'étain produit avec ce même acide une substance désoxidante qui n'est autre chose que du nitrate de protoxide d'étain.

Bâle, octobre 1845.

QUELQUES NOTICES SUR L'IODURE DE POTASSIUM, par C.-F. SCHŒNBEIN [1].

Les chimistes savent que de l'acide sulfurique suffisamment étendu d'eau ne décompose pas l'iodure de potassium à la température ordinaire, c'est-à-dire qu'il n'enlève pas une trace d'iode à ce sel, et que par suite la colle d'iodure de potassium n'est pas colorée en bleu par l'action de cet acide étendu. Il résulte des expériences de Millon et des miennes propres, que même l'acide nitrique, quand il est complétement dépouillé d'acide nitreux et convenablement étendu d'eau, ne peut pas décomposer l'iodure de potassium. Mais il suffit que ce sel renferme une trace d'iodate de potasse, pour que, dissous dans l'eau, il bleuisse la colle d'amidon quand on y ajoute de l'acide sulfurique ou phosphorique étendu, ou tout autre acide organique ou inorganique un peu actif. Il va sans dire que l'acide sulfureux fait exception à cette règle.

[1] Cette notice, quoique purement chimique, nous paraît de nature à intéresser nos lecteurs, à cause du fréquent usage qu'on fait de l'iodure de potassium dans les recherches électro-chimiques. (R.)

Si donc on veut reconnaître dans l'iodure de potassium la présence de la plus faible proportion d'iodate de potasse, on n'a qu'à le faire dissoudre dans l'eau, on y verse un peu de colle d'amidon, et on y ajoute de l'acide sulfurique étendu. Si le mélange se colore en bleu, c'est une preuve qu'il renferme de l'iodate de potasse.

Je n'ai point découvert d'iodate de potasse dans les iodures de potassium du commerce, que j'ai eus jusqu'à présent entre les mains; mais j'ai obtenu, au contraire, de fortes réactions bleues avec de l'iodure de potassium qui avait été préparé avec beaucoup de soin, et qui passait pour parfaitement pur. L'iodure de potassium qui a été obtenu par la décomposition de l'iodure de fer ou de l'iodure de zinc, au moyen du carbonate de potasse, ne présente jamais le phénomène de la coloration en bleu. Quant à celui qu'on obtient en décomposant de l'iodure de fer ou de zinc au moyen de l'hydrate de potasse, il a ou n'a pas, suivant les circonstances, la propriété de bleuir la colle d'amidon.

Si l'hydrate de potasse dissous dans l'eau et saturé d'un léger excès d'acide sulfurique pur bleuit la colle d'iodure de potassium, l'iodure de potassium qu'on prépare avec cette potasse bleuira la colle d'amidon pure quand on ajoutera un acide au mélange; mais si l'hydrate de potasse ne possède pas la propriété en question, l'iodure de potassium qu'on en obtient ne peut pas non plus bleuir la colle d'amidon. L'iodure de potassium qui a été préparé avec de l'iode et une solution de potasse caustique, et qu'on a longtemps chauffé au rouge ardent à l'effet de décomposer l'iodate de potasse qui s'est formé, bleuit toujours encore d'une manière sensible la colle d'amidon.

Je ne cherche point à décider maintenant si cette coloration est toujours due à la présence de l'iodate de potasse, quoique cette supposition puisse paraître plausible. Les faits suivants, dont j'ai déjà fait mention dans mon mémoire sur la production de l'ozône par voie chimique, ont peut-être quelque liaison

avec la réaction dont je viens de parler. Si l'on fait fondre à l'air libre, dans une cuiller de platine, de l'iodure de potassium qui, dissous dans de l'eau mélangée d'acide sulfurique, ne colore pas en bleu la colle d'amidon, il acquiert le pouvoir de bleuir la colle qu'on tient exposée à la même température, et il le conserve durant un long espace de temps. Si, après avoir maintenu pendant une demi-heure environ l'iodure de potassium à l'état de fusion ignée, on le dissout dans de l'eau mélangée d'acide sulfurique, et qu'on y ajoute de la colle d'amidon, celle-ci se colore sensiblement en bleu.

Si, après avoir dissous dans de l'eau distillée de l'iodure de potassium parfaitement pur, on humecte avec cette solution un morceau de toile propre, et qu'on le tienne pendant quelques jours exposé à l'air libre, la toile prend en beaucoup d'endroits, et principalement sur les bords, une couleur brune. Si l'on trempe ensuite cette toile dans de l'eau, on obtient un liquide de couleur jaune clair, qui colore sensiblement en bleu la colle d'amidon. Si on fait ensuite chauffer cette solution jaunâtre jusqu'à ce qu'elle soit entièrement décolorée, c'est-à-dire qu'il n'y reste plus une trace d'iode libre; qu'après cela on verse dans le liquide une petite proportion d'acide sulfurique étendu, il acquerra de même la propriété de colorer en bleu la colle d'amidon.

Dans le mémoire que j'ai mentionné, j'ai fait également observer que de la colle d'iodure de potassium exposée à l'action de l'air libre bleuit assez rapidement, ou bien que par la dessiccation elle prend une couleur brune prononcée, mais que cette même colle mise dans un flacon fermé n'éprouve aucune altération. On a souvent aussi observé que les cristaux incolores d'iodure de potassium deviennent jaunes avec le temps, et que du papier recouvert d'iodure de potassium et exposé à l'air prend une couleur jaune-brun. Tous ces faits réunis démontrent que l'iodure de potassium n'est pas une combinaison aussi fixe qu'on le croit d'ordinaire, et que l'air atmosphérique exerce,

suivant les circonstances, une action décomposante plus ou moins énergique sur ce sel haloïde. Quelque intérêt que paraissent mériter ces phénomènes, je n'ai point connaissance que les chimistes y aient jusqu'à présent donné une attention particulière.

Mais la question la plus intéressante est de savoir de quelle manière, dans les circonstances en question, l'iode se sépare de l'iodure de potassium, et de quelle nature est la substance qui occasionne les réactions bleues. Cette substance est-elle bien de l'iodate de potasse? Les chimistes prétendent que, lorsqu'on l'expose à la chaleur, ce sel se décompose précisément comme le fait le chlorate de potasse, c'est-à-dire qu'il forme de l'iodure de potassium et de l'oxigène. S'il en est réellement ainsi, comment se formera-t-il de l'iodate de potasse dans les mêmes circonstances où ce sel se décompose? Comment, sous l'action d'une chaleur ardente, l'iodure de potassium s'oxiderait-il en partie pour former de l'iodate de potasse, quand celui-ci se décompose sous la même influence en iodure de potassium et en oxigène? Et pourquoi l'iodure de potassium dégage-t-il de l'iode sous l'action de la chaleur? On peut aussi demander pourquoi il se dégage de l'iode quand on expose à l'air libre et à la température ordinaire la dissolution d'iodure de potassium pur, et pourquoi ce phénomène n'a pas lieu quand on tient cette solution dans un vase fermé et plein d'air.

L'iode et le potassium dont est formé l'iodate de potasse présentent entre eux le même rapport qu'ils présentent dans l'iodure de potassium. Or, en supposant même que ce dernier corps, mis en contact avec l'air atmosphérique, pût absorber de l'oxigène et se transformer partiellement en iodate de potasse, on ne voit pas bien pourquoi il se dégagerait de l'iode dans ces circonstances Il me semble donc qu'il n'est pas très-facile de rendre compte des phénomènes en question, et que l'on a encore besoin, pour les bien comprendre, de faire des recherches beaucoup plus exactes.

Je ne puis m'empêcher de parler ici d'une observation que j'ai faite, et qui se trouve également consignée dans mon mémoire sur l'ozône. Si l'on tient pendant quelque temps à l'air libre de l'hydrate de potasse à l'état de fusion ignée, qu'ensuite on le fasse dissoudre dans de l'eau et qu'on le sature avec de l'acide sulfurique pur, cette solution colorera sensiblement en bleu la colle d'iodure de potassium qu'on exposera à son action, et en général elle se comportera exactement comme une solution de potasse qu'on a laissée longtemps exposée à l'action d'une atmosphère d'ozône, et qui a été saturée également avec de l'acide sulfurique. Dans cet exemple, la réaction bleue ne peut sans doute pas être attribuée à de l'iodate de potasse, mais c'est dans quelque autre combinaison qui se forme quand on chauffe au rouge de l'hydrate de potasse à l'air libre, qu'il faut chercher la cause prochaine de ce phénomène. Or ne serait-il pas possible que la même substance qui se forme quand on fait fondre à l'air libre l'hydrate de potasse, se formât aussi quand on soumet l'iodure de potassium à la même action? Et cette combinaison serait-elle par hasard le peroxide de potassium? Dans mon petit ouvrage sur l'ozône, j'ai exposé les motifs qui m'empêchent de partager cette opinion. J'ajouterai, en terminant, que la colle d'amidon mélangée avec de l'iodure de potassium qui renferme de l'iodate de potasse, est un réactif dont la sensibilité pour les acides libres peut rivaliser avec celle du papier de tournesol. Il suffit, pour colorer ce mélange en bleu foncé, qu'il renferme des quantités extraordinairement faibles d'acide sulfurique, hydrochlorique, ou tartrique, dissoutes dans l'eau.

SUR LES LOIS DES AIMANTS ÉLECTRIQUES, par MM. JACOBI et LENZ.

Nous avions espéré pouvoir donner un extrait détaillé des recherches de MM. Jacobi et Lenz sur les aimants électriques; mais la longueur de leur mémoire, le nombre considérable de tableaux qu'il renferme, et le peu de résultats généraux qui ont été obtenus, nous ont découragés. Un nouveau travail des mêmes physiciens sur le même sujet a paru, ou est, dit-on, sur le point de paraître; raison de plus pour ne pas revenir avec trop de détails sur l'ancien, qui sera probablement étendu et rectifié. Nous nous contenterons donc d'en donner un extrait très-abrégé, que nous empruntons à *l'Institut*, dans lequel il a déjà paru au mois de mars 1844, c'est-à-dire il y a près de deux ans.

« Dans la première partie de ces recherches, dont nous avons rendu compte dans *l'Institut*, les auteurs ont fait connaître d'après quelles lois un noyau en fer donné était magnétisé par le courant galvanique, et le résultat auquel ils sont parvenus a été que, pour une surface donnée de la batterie et une épaisseur déterminée d'enroulement du fil, l'induction électro-magnétique d'un noyau donné de fer était susceptible d'un maximum. Ce maximum peut être atteint par des moyens très-variés quand seulement, ainsi qu'il est facile de le voir par les équations de condition données pour les différents cas, la batterie est disposée de telle sorte que la résistance de conductibilité qu'elle présente est égale à celle du fil ou de la lame enveloppante. Reste maintenant la question de savoir quelle influence relative exercent les dimensions du noyau en fer sur la quantité du magnétisme développé; mais, avant de la résoudre, les auteurs ont voulu examiner comment des tiges en fer d'égale

longueur, mais d'épaisseur variable, développent de l'électro-magnétisme.

« Voici d'abord comment MM. Jacobi et Lenz posent ce problème : — Quelle influence l'épaisseur du noyau en fer a-t-elle sur le magnétisme développé en lui ? — Les observations précédentes que les auteurs avaient faites sur des cylindres de fer de diverses épaisseurs, et rapportées dans leur premier travail, auraient pu les conduire à la solution de ce problème ; mais ayant remarqué qu'elles n'étaient pas en tout point comparables entre elles, par des motifs qu'ils font connaître, ils ont résolu d'en faire de nouvelles en faisant varier divers éléments, afin de pouvoir assigner plus aisément la loi qui régit le phénomène. Les résultats de ces nouvelles observations, consignés dans des tableaux et discutés avec soin, ont conduit les auteurs à une formule empirique qui représente assez bien les phénomènes, et à la loi que voici :

« Avec des cylindres massifs en fer de même longueur et d'un diamètre de plus de $^{1}/_{3}$ de pouce, les magnétismes communiqués par des courants galvaniques de même force et par des spirales d'un même nombre de tours sont proportionnels aux diamètres de ces cylindres.

« Cette loi était déjà connue par les expériences de Mr. Barlow et par celles que Mr. Parrot (de Dorpat) avait entreprises de concert avec Mr. Lenz ; mais les observations nouvelles la confirment, et elles démontrent de plus que lorsqu'il s'agit de produire des courants d'induction par l'excitation électro-magnétique du fer doux, il est plus avantageux, sous le rapport économique, de se servir d'un grand nombre de tiges de fer d'un petit diamètre, que d'une seule tige d'un grand diamètre, en supposant toutefois qu'on est borné à une certaine longueur.

« Il eût été à désirer qu'on eût pu, dans ce cas, mesurer et comparer le magnétisme libre des extrémités plates des tiges en fer de différents diamètres, mais toutes les méthodes connues qu'on aurait pu appliquer à cette recherche ont présenté

de telles difficultés matérielles qu'il a été impossible d'en attendre un résultat exact. C'est tout différent lorsqu'il s'agit de tiges de longueurs différentes, et c'est pour cette raison que les auteurs se sont proposé de résoudre ce second problème.

« Pour y parvenir ils ont toutefois renoncé, par des motifs particuliers, aux méthodes employées jusqu'à présent par les autres physiciens dans la recherche du magnétisme libre des tiges magnétiques, et ont eu recours à une méthode indirecte particulière qui a pour base l'hypothèse suivante. Lorsqu'on approche une tige magnétique d'un fer à cheval en fer doux, cas qui se présente très-fréquemment dans la pratique, on peut admettre que la quantité de la matière organique décomposée, ou le magnétisme total qui se développe dans ce fer doux, est proportionnelle au magnétisme libre du point de la tige magnétique qu'on a posé sur le fer à cheval. Cette hypothèse ne peut guère souffrir d'objection; en s'en servant comme point de départ dans leurs expériences, les auteurs ont été conduits à formuler la loi suivante :

« Le magnétisme des extrémités aplaties, ou faces extrêmes, dans les aimants électriques qui sont couverts dans toute leur longueur par des spirales électro-magnétiques, est indépendant de la longueur de ces tiges, et pour des courants égaux dépend seulement du nombre des tours de la spirale.

« Cette loi est extrêmement importante pour la construction des aimants électriques, et indique nettement le point sur lequel il est nécessaire d'insister pour disposer ces sortes d'aimants conformément au but qu'on se propose. Toutefois, pour rendre encore plus évidente l'importance absolue du nombre des tours et l'influence nulle de la longueur, MM. Jacobi et Lenz ont entrepris une autre série d'expériences dont ils font connaître toutes les conditions, et, comparant cette série à la précédente, ils croient pouvoir poser comme une loi de la plus grande généralité celle qu'ils formulent ainsi qu'il suit :

« Le magnétisme des faces extrêmes de tiges en fer d'égal

diamètre est comme le nombre des tours électro-magnétiques, soit répartis d'une manière égale sur toute la longueur, soit accumulés aux extrémités, multiplié par la force du courant.

« Ou bien, quand on a égard à la loi énoncée précédemment relativement à l'épaisseur des tiges en fer :

« Le magnétisme des faces extrêmes des tiges en fer électro-magnétiques, est comme la longueur du fil qui les entoure, soit d'une manière régulière sur toute la longueur, soit à leur extrémité seulement, multiplié par la force du courant.

« Là se termine la deuxième partie des recherches de MM. Jacobi et Lenz. En commençant la troisième, ils rappellent d'abord que des recherches publiées précédemment par eux sur la force des aimants électriques les ont conduits à ce résultat pratique et d'un haut intérêt, savoir que « lorsqu'on n'est pas limité, ni relativement aux masses en fer, ni par rapport à la longueur et au diamètre du fil enveloppant, on peut, avec un courant, quel que soit sa force, produire un aimant électrique de telle force qu'on désire. » Ils cherchent donc d'abord à combiner ce résultat avec les précédents, et à faire voir les rapports qui existent entre eux. Mais il restait toujours une question à résoudre, celle savoir quelle était la disposition la plus convenable à donner aux aimants électro-magnétiques lorsqu'on veut les faire servir à la production des courants d'induction. Quelques essais préliminaires leur ont bientôt démontré que le phénomène n'était pas soumis à des lois aussi simples que les recherches dont ils s'étaient occupés jusque-là, et c'est ce qui les a déterminés à lui prêter une attention toute particulière.

« Pour cela, ils partent du principe, suffisamment autorisés en cela par leurs précédentes recherches, que « le courant d'induction mesuré est proportionnel à la quantité totale de fluide magnétique qui s'est décomposée dans la couche qui se trouve immédiatement sous la spirale d'induction, » puis opèrent en introduisant une spirale d'induction sur une tige en fer électro-magnétique et en mesurant en chaque point la quantité de fluide

magnétique décomposé par le courant d'induction qui en provient. Le sinus de la demi-déviation angulaire donne l'ordonnée de la courbe qui correspond à la loi de la distribution. Cette méthode peut ouvrir la voie à un grand nombre de recherches variées, et la première à laquelle se livrent MM. Jacobi et Lenz est la recherche de la distribution du fluide magnétique sur des tiges en fer, recouvertes sur toute leur longueur par des spirales électro-magnétiques.

« Dans les expériences on s'est servi, pour produire un courant galvanique, de la batterie constante de Grove, platine et zinc à 3 éléments présentant chacun une surface de platine de demi-pied carré. On a introduit un voltagomètre dans le circuit galvanique, afin de reconnaître jusqu'aux moindres déviations du courant. Ce dernier est resté le même pour toute la série des observations, et a été observé à la boussole des tangentes dont les auteurs s'étaient servis dans leurs précédentes expériences sur la force des aimants électriques. La boussole qui a servi à observer le courant d'induction a été la même que dans les précédentes recherches, et observée par la même méthode ; enfin on a toujours fait quatre observations afin d'éliminer les erreurs constantes.

« Les résultats des observations ont été consignés dans de nombreux tableaux qu'il est impossible de reproduire ici, et représentés par des projections pour en former des courbes qui paraissent être des paraboles du premier degré, ou du moins qui sont très-bien représentées par l'équation d'une courbe de ce genre. La discussion complète des résultats contenus dans ces tableaux, et des courbes qui leur servent de représentations graphiques, confirme l'opinion des auteurs, savoir : « que la somme des magnétismes observés dans chaque couche distincte est égale à la quantité totale du fluide magnétique décomposé.

« Les auteurs, en terminant, rapportent encore quelques expériences sur la distribution magnétique dans des cylindres de

fer qui ne sont pas couverts dans toute leur longueur par des spirales magnétiques, et qui confirment complétement la deuxième loi rapportée dans la seconde partie de leur travail, et qui a été rapportée ci-dessus; enfin, dans un appendice ils reviennent encore sur les recherches de la troisième partie, pour faire voir comment les formules qu'ils ont données pour une tige en fer couverte sur toute sa longueur par une spirale électro-magnétique, permettent de trouver le maximum du courant d'induction, et d'en déduire les théorèmes que voici :

« 1° Les masses de fils nécessaires pour les spirales sont comme les longueurs du cylindre.

« 2° Les maxima des courants d'induction, quand on se sert de spirales paraboliques, sont comme les racines carrées des longueurs du noyau cylindrique en fer. »

SUR LA TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE, par le docteur M.-H. JACOBI. (Lu dans une séance publique de l'Acad. impér. des Sciences de Saint-Pétersbourg, le 8 janvier 1844.) [1]

J'ai déjà eu l'occasion de communiquer à l'Académie plusieurs notices relatives aux travaux télégraphiques dont je m'occupe sans relâche depuis plus de deux ans par ordre de l'empereur. Aujourd'hui je prends la liberté de présenter à cette haute assemblée un coup d'œil général sur la télégraphie électrique, accompagné d'un travail détaillé sur mes propres tra-

[1] Ce morceau nous paraît résumer d'une manière assez heureuse les différents essais qui ont été tentés jusqu'ici au sujet de la télégraphie électrique. Il nous a seulement paru incomplet en ce qu'il ne mentionne pas que la première idée du télégraphe électro-magnétique est due à Mr. Ampère, et en ce qu'il ne dit rien des travaux importants de Mr. Wheatstone sur le même sujet; nous réparerons incessamment cette lacune. (R.)

vaux ; ce qui m'y détermine, c'est que cette année a vu achever heureusement un ouvrage qui, dépassant la mesure d'une expérience ordinaire, peut servir en quelque façon de règle pour les progrès futurs et les utiles applications dont on a droit d'attendre la réalisation.

Apprendre promptement et avec certitude ce qui se passe à une grande distance, transmettre et recevoir des communications ou des ordres, tel est, en général, le but des télégraphes. Vous savez qu'on obtient en général ce but au moyen de signes convenus, qui sont répétés de station en station, et transmis ainsi jusqu'à leur destination. Ces signes mêmes se composent de figures géométriques qui sont combinées d'une manière plus ou moins ingénieuse, et sont obtenues par un procédé mécanique. Malgré leurs nombreuses imperfections, ces télégraphes optiques, ainsi qu'on les nomme, ont été introduits à grands frais dans plusieurs pays. Mais ces imperfections mêmes, parmi lesquelles j'aurai occasion d'en faire ressortir plusieurs, et dont la plus grave est que les télégraphes ordinaires refusent assez souvent leur service au moment même où la transmission des dépêches a le plus d'importance, ces inconvénients, dis-je, justifient pleinement les efforts que l'on fait pour remplacer cet instrument par d'autres, et pour puiser, dans les abondantes sources qu'ouvre la science, d'autres moyens de satisfaire promptement et avec certitude le besoin d'une communication immédiate et vivante à des distances indéfinies.

L'électricité nous fournit un moyen de ce genre. Agent aussi merveilleux que puissant, répandu partout dans la nature, il manifeste son activité soit dans les terribles phénomènes de la foudre, soit dans les produits dont se compose l'écorce de notre globe, et dont la formation a duré une longue suite de siècles; il a été mis à la disposition de l'homme, non pas tout prêt à servir et de manière à ne demander de sa part qu'une simple observation et une admiration abstraite, mais comme un agent dont il peut disposer en maître, ainsi que du calorique, et sur

lequel il peut exercer et mettre à l'épreuve sa propre force créatrice.

Permettez-moi de rappeler en ce moment une propriété de l'électricité, qui fit déjà concevoir dans le siècle dernier la possibilité de l'employer à la télégraphie. Dans les fréquentes expériences que l'on fit alors avec l'électricité de frottement, on n'avait jamais aperçu un retard ou une différence quelconque de temps, lors de la décharge des bouteilles de Leyde à travers des fils très-longs. Ce n'est qu'en 1834 que le professeur Wheatstone de Londres a réussi, au moyen d'un procédé extrêmement ingénieux, à déterminer la rapidité avec laquelle l'étincelle électrique se transmet dans les conducteurs métalliques, et qu'il l'a estimée à 288 000 milles anglais par seconde, ce qui donne ainsi à l'électricité une rapidité qui dépasse de beaucoup celle de la lumière. On peut calculer, d'après cela, qu'on pourrait faire passer une dépêche tout autour de la terre en $^1/_{12}$ de seconde, si du moins il n'y avait pas peut-être autant de difficulté à établir et à isoler un fil sur une pareille étendue, qu'il y en a dans la condition à laquelle le célèbre mathématicien de Syracuse attachait la solution de son problème. Mais, sans nous arrêter à cela, il n'est question dans les expériences de Wheatstone, que de l'électricité ordinaire de frottement, telle que la machine électrique et d'autres appareils analogues nous la fournissent. Quant à la rapidité de l'électricité provenant de sources diverses, telle que celle qui constitue le courant galvanique par exemple, on n'a pas encore déterminé, du moins par voie d'expérience, si elle est aussi grande que la précédente. On peut regretter que la méthode de Wheatstone ne soit applicable qu'à l'électricité de frottement. Une méthode tout à fait différente, dont j'ai déjà fait usage en 1837 pour obtenir quelque donnée sur la rapidité du courant galvanique, ne m'a permis d'obtenir que des valeurs approximatives, et a fait voir que cette rapidité doit être au moins de 1 260 000 pieds, ou 360 verstes, par seconde. Quoiqu'une pareille rapi-

dité soit suffisamment considérable pour ne pas affecter d'une manière essentielle le problème des télégraphes électriques, des expériences toutes nouvelles, que j'ai faites avec l'appareil conducteur de Tsarsko-Sélo, me disposent à conjecturer que la rapidité du courant galvanique doit encore être supérieure à 10,000 verstes par seconde, et j'espère, au moyen de ces mêmes expériences, réussir à résoudre en partie cette question importante, soit qu'il s'agisse de la longueur absolue du conducteur, ou qu'il soit question seulement de sa résistance de conductibilité.

J'ai parlé des sources diverses de l'électricité ; je vais les mentionner brièvement. L'électricité de frottement était déjà connue des anciens ; ils donnèrent à cette force le nom qu'elle porte. Vous savez tous que le commencement de notre siècle a été signalé par la découverte du galvanisme ou de l'électricité galvanique, et par la découverte de la pile de Volta. En 1821, le professeur Seebeck de Berlin découvrit la thermo-électricité, ou les courants électriques qui se développent dans un circuit formé de deux métaux différents, dont un des points de jonction est chauffé tandis que l'autre est refroidi. L'électricité magnétique a été découverte en 1831 par Faraday. Tout aimant peut, moyennant certaines conditions faciles à réaliser, devenir une source de courants électriques d'une très-grande énergie. L'électricité animale qui se manifeste avec beaucoup d'énergie chez plusieurs poissons dits électriques, tels que le *Torpedo narke*, le *Gymnotus* et le *Silurus electricus*, était aussi connue dans l'antiquité, du moins chez les Romains ; mais ce n'est que récemment qu'elle a été soumise à une étude exacte.

Toutes ces espèces d'électricité d'origine diverse sont probablement identiques dans leur nature, et ne diffèrent l'une de l'autre que sous quelques rapports quantitatifs dont dépend la plus ou moins grande énergie de leurs manifestations, mais qu'il faut connaître exactement pour apprécier le degré de facilité avec lequel elles peuvent se prêter à tel ou tel usage pra-

tique. Laissant de côté, pour le moment, l'électricité de frottement, la première dont on ait eu l'idée de se servir pour la télégraphie, mais qui présenterait de grandes difficultés à cause de l'influence que les circonstances atmosphériques exercent sur elle plus que sur aucune autre, nous nous arrêterons d'autant plus longtemps au galvanisme, cette merveilleuse source d'électricité, qui peut le plus complétement répondre à nos besoins, parce qu'elle fournit le moyen le plus facile de produire et de rendre intenses à volonté les nombreux phénomènes que présente la chaîne électrique fermée. En effet, prenez une ou plusieurs lames de cuivre et de zinc, disposez-les deux à deux en les plongeant dans des liquides acides ou salins, d'après certaines règles déterminées, unissez enfin, au moyen d'un fil de métal, les extrémités de cette pile galvanique, vous pourrez dans le circuit formé par ce fil de jonction, quelle qu'en soit d'ailleurs l'étendue, et quel que soit le point que vous choisissiez, apercevoir ou produire des phénomènes chimiques, calorifiques, des actions sur l'organisme animal, et enfin des mouvements mécaniques. Au moyen de cette puissance vraiment magique, vous pouvez, à des distances indéfinies, exercer votre influence sur tous les sens, l'odorat, le goût, le toucher, la vue et l'ouïe, et il vous suffit de choisir parmi les diverses affections des sens celle qui est la plus propre à produire tels ou tels effets certains, ou qui vous paraît le mieux convenir à votre individualité. Pour cela, il faut examiner de plus près quel est exactement le but que doit se proposer d'atteindre la télégraphie.

En étudiant attentivement ce but, nous trouvons que les télégraphes optiques employés jusqu'à présent n'y satisfont que d'une manière très-imparfaite. Dans mon opinion, qui n'est pas encore il est vrai généralement admise, c'est un malheur pour la télégraphie, et plus encore pour l'économie ainsi que pour l'utilité et l'agrément de notre courte existence, que les hommes n'aient pas commencé par inventer l'analyse combi-

née, puis l'écriture, et enfin la langue, c'est-à-dire une seule langue. Le professeur Steinheil de Munich fait observer avec beaucoup d'esprit, en parlant de la télégraphie, que « les mouvements de grands leviers dont les télégraphes actuels se composent et doivent se composer pour être vus de loin, occasionnent une grande perte de temps, et cela en vertu des lois de la dynamique, tandis que le but de la télégraphie est de transmettre les pensées à tout instant, de la manière la plus rapide possible et à des distances quelconques. Le langage a fourni la solution la plus complète du problème, sauf en ce qui concerne la possibilité de franchir les distances. La télégraphie n'aurait donc qu'à reproduire le langage, pour satisfaire encore à cette condition. C'est évidemment un inconvénient en télégraphie, qu'on ait à reproduire un mode imparfait de communication, le langage des signes, tel qu'est celui des sourds-muets. Il faut reproduire le langage dans sa forme la plus parfaite, le discours, dans lequel le son, en frappant l'oreille, rend involontairement attentif, et facilite l'intelligence. Au premier abord ce but paraît très-difficile à atteindre, vu que le discours dispose de sons très-divers, et peut ainsi présenter une idée avec un petit nombre de combinaisons. Ces difficultés-là ont fait échouer en quelque sorte toutes les idées relatives à la télégraphie. Avant le professeur Gauss de Gœttingue, on a cherché à créer un grand nombre de signes différents, sans penser que cela devait avoir pour effet de compliquer encore plus le problème. On a oublié qu'une communication rapide n'est pas possible avec des signes nombreux, et qu'un seul signe serait complétement suffisant, pourvu qu'il pût être répété avec une assez grande rapidité, et employé dans des groupes de combinaisons convenablement disposés, etc. » Quoique cette exposition courte et précise du but que nous avons en vue fasse naître une foule de réflexions, je ne crains pas de m'appuyer du témoignage de plusieurs de ceux qui m'écoutent, pour affirmer que le baron Schilling de Canstadt, que plusieurs d'en-

tre nous ont connu et qui a été enlevé trop tôt par la mort, avait conçu d'une manière simple et exacte, et résolu pratiquement le problème de la télégraphie, tout aussi bien et peut-être plus tôt que le célèbre astronome de Gœttingue.

Plus tard nous aurons l'occasion de donner encore quelques détails sur le meilleur système de signes à employer pour les télégraphes électriques ; pour le moment, examinons avec soin l'utilité que les courants électriques et surtout les courants galvaniques peuvent présenter, pour ce qui concerne les signes télégraphiques. On sait que, lorsque au moyen du fil de jonction mentionné plus haut on réunit les deux pôles d'une batterie galvanique avec deux fils de platine qui plongent dans un petit godet rempli d'eau acidulée, cette eau se décompose dans ses éléments, et que de petites bulles d'hydrogène et d'oxigène se dégagent des fils. Dès que la communication du fil de jonction avec la batterie vient à cesser, on voit cesser aussi la décomposition de l'eau. Cette action chimique de la batterie se propageant à de grandes distances, et se manifestant même à une grande distance de la batterie dans l'appareil à décomposer l'eau, on peut se servir des décompositions de l'eau se succédant à certains intervalles pour transmettre certains signaux convenus. En effet, pendant les travaux des lignes télégraphiques, ainsi que dans d'autres occasions, nous nous sommes servis très-fréquemment de ce moyen simple de nous entendre. Quoiqu'il paraisse insuffisant pour un service régulier et pour la transmission de dépêches entières, je ne doute pas qu'en y donnant une sérieuse attention on ne trouve d'autres réactions, et qu'on ne réussisse à construire des télégraphes électro-chimiques à la fois très-simples et très-parfaits. Je ne passerai cependant pas sous silence les tentatives que, dès 1807, Sömmering fit dans ce but à Munich. A l'une des stations, il établit une forte pile voltaïque ; à l'autre, éloignée d'environ 300 brasses [1], il éta-

[1] La brasse vaut de 5 à 6 pieds mesure de Paris.

blit 35 appareils à décomposer l'eau, qui communiquaient à une batterie par autant de conducteurs isolés, tordus ensemble, formant une corde, et portant chacun une lettre et un numéro. On pouvait ainsi, en établissant la communication avec tel ou tel appareil, faire apparaître à volonté dans ceux-ci les bulles de gaz, et transmettre jusqu'à 35 lettres ou numéros différents. Le grand nombre des fils conducteurs, joint à d'autres circonstances, s'oppose à ce que l'appareil de Sömmering soit d'un emploi facile dans la pratique.

Dans un mémoire très-bien fait, le professeur Vorsselman de Heer de Deventer a fait, en 1839, la singulière proposition d'employer, à la transmission des signaux télégraphiques et des dépêches, des chocs électriques qui pourraient se propager à de très-grandes distances au moyen d'une pile voltaïque, ou d'appareils d'induction magnéto-électrique. Mr. V. de H. a construit à cet effet, à chaque station, une espèce de clavier composé de 10 doubles touches. L'employé qui transmet les dépêches et celui qui les reçoit, tiennent tous deux leurs dix doigts sur ces touches. Si le premier abaisse deux touches quelconques, il fait communiquer la batterie avec le conducteur, et le second reçoit une commotion dans les deux doigts qui reposent sur les deux touches semblables. De cette manière on peut, au moyen de combinaisons convenables, donner 45 signaux différents, nombre plus que suffisant pour les besoins télégraphiques. S'il s'agissait, dans ce système, de faire usage de violentes décharges électriques, on serait obligé de le rejeter complétement, ou bien de considérer la fonction de télégraphiste comme une peine sévère. Telle n'a pas été l'intention de l'auteur, puisque maintenant on peut réduire les violentes commotions galvaniques au point de n'être plus que des sensations tout à fait légères. Mais, abstraction faite de ces commotions, l'idée de Mr. V. de H., quoique parfaitement bien motivée au point de vue scientifique, offre de grands inconvénients dans la pratique, et n'a pas été adroitement mise à exécution. Malgré cela

j'en prends la défense, parce que j'ai eu l'occasion de me convaincre qu'on peut en tirer profit. Seulement le principe doit recevoir certaines modifications. Il faut réduire à deux le nombre des fils conducteurs et celui des doigts qu'on fait mouvoir. Pour obtenir les deux signes dont on a besoin comme éléments de combinaison, on donne avec la touche un coup simple ou un double coup, ce qui produit à l'autre station deux sensations bien distinctes l'une de l'autre. L'index et le grand doigt de la main gauche sont les plus propres à cet office, parce que, tandis qu'ils reposent sur deux lames de métal qui communiquent bien entre elles, la main droite reste libre et peut ainsi noter les signaux à l'instant même où ils arrivent. Avec un peu d'habitude, il est facile de distinguer encore un coup triple d'un double coup; quand le coup est quadruple, les sensations commencent à être confuses. Dans des expériences que j'ai faites l'hiver dernier sur la glace de la Newa, et dans lesquelles la distance entre les stations s'est élevée jusqu'à neuf verstes, ce qui rendait nécessaire l'usage de signaux télégraphiques, j'ai trouvé un grand avantage, soit pour la simplicité, soit pour la commodité du travail, à l'emploi d'un télégraphe physiologique. Cet instrument a réellement quelque chose d'extrêmement curieux et mystérieux. On se sent pour ainsi dire en contact corporel avec la personne avec laquelle on correspond, et qui peut se trouver éloignée de plusieurs milles. Si l'appareil est établi d'une manière convenable, on peut, au milieu d'une nombreuse société, transmettre et recevoir certains signes convenus, sans qu'aucun des assistants s'en aperçoive.

En 1820, le professeur Œrsted, de Copenhague, découvrit qu'une aiguille aimantée librement suspendue, placée en un point quelconque du fil de jonction d'une pile voltaïque, quelle que soit l'étendue de ce dernier, éprouve une déviation à l'est ou à l'ouest, selon que les extrémités du fil sont en communication avec l'un ou avec l'autre des deux pôles de la batterie. La connaissance de ce fait remarquable, qui établissait la plus

intime relation entre deux agents qui avaient été jusqu'alors regardés comme complétement différents, imprima à un grand nombre de recherches scientifiques, et en particulier à la télégraphie électrique, une marche assurée, et ouvrit à cette dernière un vaste champ d'espérances. Si l'on fait faire au fil de jonction un grand nombre de tours sur un cadre au milieu duquel est suspendue une aiguille aimantée, on obtient ainsi l'instrument appelé multiplicateur, qui est d'une extrême sensibilité et au moyen duquel on peut produire des déviations considérables, même avec les forces galvaniques les plus faibles; si on établit un instrument de ce genre à l'une des stations, on verra l'aiguille dévier à l'est ou à l'ouest toutes les fois et au même moment où, à l'autre station, s'effectuera d'une manière ou d'une autre la communication du fil de jonction avec la batterie. On obtient ainsi deux signes visibles, qui, répétés ou alternant à des intervalles de temps régulier, peuvent, par leur combinaison, former un langage télégraphique complet. C'est de cette manière que Schilling avait construit son télégraphe, en y ajoutant de très-bonnes dispositions destinées à établir facilement et avec sûreté les communications alternatives, à rendre les déviations plus sensibles à l'œil, et à empêcher qu'elles n'eussent rien d'équivoque, enfin en vue d'éliminer les oscillations que l'aiguille pourrait présenter après chaque déviation, et qui risquaient de mettre de la confusion dans les signes. Toutefois les premiers essais de Schilling, de même que ceux d'autres savants, n'étaient point aussi simples. On croyait encore, à cette époque, ne pouvoir atteindre le but sans un grand nombre de signes, et par suite on regardait également comme indispensable un nombre proportionné de fils conducteurs et de multiplicateurs indicateurs; mais, d'autre part, on ne connaissait pas encore les difficultés qui sont liées à l'établissement et à l'isolement de tous ces fils, difficultés qu'on reconnut plus tard quand on voulut sérieusement mettre ces divers projets à exécution. Mr. le professeur Wheatstone est celui qui a le plus

longtemps persisté à maintenir, dans son télégraphe du chemin de fer dit Great-Western, le principe d'un grand nombre de signes; cependant il a fini par l'abandonner lorsqu'il a reconnu qu'assez souvent, et surtout quand le temps était humide, l'établissement du circuit principal mettait aussi en mouvement les systèmes d'aiguilles qui n'avaient absolument aucune communication avec ce circuit. Dans l'établissement de la ligne de Tsarsko, on a fréquemment employé, pour les communications réciproques, un télégraphe semblable à celui de Schilling et formé d'un seul multiplicateur.

Si les signes ne sont que *momentanément visibles*, il faut, pour les observer, une grande attention; si, d'ailleurs, la personne qui reçoit la dépêche doit en même temps noter les signes, et qu'ainsi elle ne puisse pas observer sans interruption le jeu des aiguilles, il en résultera naturellement un retard. Il faudrait donc, en quelque sorte, avec ces télégraphes, dicter les signes à un second employé, opération qui deviendrait elle-même une nouvelle source d'erreurs. En établissant à Munich le télégraphe qui est, à ce qu'il paraît, maintenant en activité, Mr. Steinheil a bien senti les inconvénients des signes qui ne sont que momentanément visibles; aussi a-t-il essayé de rendre à volonté ces signes indépendants de l'observation et de les fixer d'une manière durable, ou de les rendre sensibles à l'oreille, de façon que l'observation et la notation en fussent plus faciles et plus commodes. Dans ce but, il a disposé une bande de papier, de manière qu'en se déroulant de dessus un cylindre elle s'enroule sur un autre et passe avec une vitesse uniforme à peu de distance des aiguilles. Celles-ci sont munies de petites capsules destinées à recevoir de la couleur noire à l'huile; ces capsules ont de petits becs terminés par une pointe fine percée dans sa longueur, et au travers de laquelle la couleur noire peut cheminer par l'effet de la capillarité. Par ce moyen les aiguilles, pour peu qu'elles touchent le papier lorsqu'elles dévient, y déposent des points noirs qui peuvent, en

se combinant, former des signes télégraphiques. A la place de cette bande de papier, Mr. Steinheil a pu faire usage de deux cloches de verre dont les tons étaient éloignés d'une sixte, et qui, au contact des aiguilles, donnaient deux sons légers, faciles à distinguer et par conséquent à noter. Malgré les diverses objections qu'on peut faire contre ce télégraphe, celle-ci entre autres, qu'il fallait employer l'électricité magnétique comme source du courant galvanique, cet appareil conservera toujours de l'intérêt au point de vue historique, comme le premier télégraphe qui ait tracé des signes graphiques et présenté en même temps une construction ingénieuse.

Environ huit ans après la remarquable découverte d'Œrsted, c'est-à-dire vers l'année 1828, on observa qu'un fil de jonction roulé en hélice autour d'un barreau de fer communique à ce barreau une forte aimantation. En employant pour ce barreau du fer très-doux, en le recourbant en forme de fer à cheval, ou lui donnant toute autre forme convenable, on obtint des électro-aimants qui possédaient une force étonnante et telle qu'ils pouvaient devenir capables de supporter plus de 5 à 6 mille livres. Il était de la plus haute importance d'étudier les lois de ces phénomènes, et je réussis, dans des travaux faits en commun avec M. Lenz et après de très-nombreuses expériences, à déterminer avec certitude les rapports exacts qui existent entre les dimensions du barreau de fer et celles du fil, d'un côté, et la force et la disposition de la batterie, de l'autre. Ces lois font voir comment on doit procéder pour obtenir dans chaque cas donné le maximum d'aimantation, et elles conduisent à ce fait remarquable, que sans rien ajouter à la force de cette batterie, et en augmentant seulement la masse du barreau et du fil employés pour faire un électro-aimant, on peut donner à celui-ci une force à peu près illimitée. Vous savez que dans un aimant ordinaire d'acier l'aimantation reste toujours la même, ou n'éprouve que des variations accidentelles. Les électro-aimants, au contraire, ont ceci de particulier qu'ils perdent

leur aimantation dès que cesse la communication entre le fil de jonction et la batterie. On peut utiliser ce fait avec grand avantage et de toute espèce de manière, pour la construction des télégraphes électriques, avec plus d'avantage du moins qu'on n'a pu le faire jusqu'ici dans l'application de l'électro-magnétisme comme force motrice. Si je ne me trompe, Mr. Morse, professeur à New York, est le premier qui ait attiré l'attention sur l'application des électro-aimants à la télégraphie, et construit un modèle de cette espèce de télégraphe; mais les renseignements qu'on a sur sa tentative sont très-incomplets. Quoique cette application se présente aisément à l'esprit, on ne peut, ainsi qu'il a été reconnu en Angleterre, l'employer pour de grandes distances qu'en se conformant aux lois dont j'ai parlé, et que Mr. Lenz et moi avons exposées les premiers.

Dans l'automne de 1841, je reçus l'ordre de l'empereur d'établir un télégraphe électrique du Palais d'hiver à l'Etat-major général. Cette distance, quoique peu considérable, était suffisante pour faire apprécier l'utilité pratique des télégraphes électriques, et la convenance des arrangements dont le choix était complétement laissé à ma décision. Si la tâche était honorable, son exécution présentait des difficultés particulières. Les télégraphes que je connaissais alors exigeaient des observations pénibles, et les manipulations longues, désagréables, sales même, qui les accompagnaient, étaient rendues plus désagréables encore par le voisinage des batteries galvaniques, etc., nécessaires pour les mettre en activité. Il me parut donc désirable et même nécessaire, que, dans le télégraphe dont la construction m'était confiée, les signes pussent être notés rapidement les uns après les autres, à la station éloignée, d'une manière à la fois lisible, simple, correcte et propre; que, pour obtenir un contrôle assuré, les signaux frappassent en même temps l'oreille par un fort coup de cloche; qu'ainsi la dépêche fût *écrite et dictée* en même temps de loin; que la manipulation

pour la transmission des signaux, ainsi que le changement et le rétablissement nécessaires des diverses communications voltaïques pussent se faire d'une manière simple et sûre ; que le système des combinaisons de chiffres fût commode et expéditif ; qu'enfin les batteries fussent établies dans un local tout à fait à part, dans un souterrain si c'était possible, sans que cela nuisît à leur communication avec le télégraphe. N'ayant pas sous la main les dessins et le modèle qui seraient nécessaires, je ne pourrais vous faire comprendre clairement, dans tous leurs détails, les divers appareils au moyen desquels j'ai réussi à réaliser complétement toutes les conditions que je viens d'énoncer. Permettez-moi donc de me borner à une exposition générale.

Le télégraphe que j'ai construit pour l'empereur, est mis en mouvement par un électro-aimant en fer à cheval, qui s'aimante et attire une armure de fer toutes les fois qu'à la station éloignée on frappe sur une touche et qu'on établit ainsi la communication avec la batterie. Cette armure, momentanément attirée par l'aimant, met en mouvement, au moyen d'une espèce d'échappement, des marteaux qui frappent sur la cloche, et en même temps elle fait tracer à un crayon un trait sur une plaque de verre mat poli, qui se meut d'une manière lente et uniforme sur une espèce de petit chemin de fer au moyen d'un mouvement d'horlogerie. Les intervalles de temps qui séparent ces traits et ces coups de cloche dans leur succession, servent à former d'une manière assurée les combinaisons de signes dont on a besoin. Plus tard il fallut satisfaire encore à la condition suivante, savoir, que les dépêches fussent écrites et entendues *en même temps aux deux stations*. Au premier abord la chose parut facile ; mais, par l'effet de circonstances qui tiennent au domaine de la physique et que le temps ne me permet pas d'exposer ici, la réalisation de ce principe m'a offert les plus grandes difficultés et m'a inspiré la crainte qu'il ne pût pas être appliqué à la transmission des dépêches à de grandes distances.

Heureusement que cette année j'ai réussi enfin, sinon à triompher complétement de ces difficultés, du moins à les éviter d'une manière assez satisfaisante. Vous n'aurez pas de peine à croire, que ce premier essai présentait encore dans les détails bien des imperfections auxquelles il fallut remédier. Les découvertes et les améliorations mécaniques ont, comme les hommes mêmes, besoin d'être formées à l'accomplissement de leurs fonctions. Les machines aussi ont leurs caprices, et ce n'est que par un travail sévère, exact et opiniâtre qu'on peut les en guérir. Mais une difficulté plus grande encore, c'était de se procurer un personnel et de le dresser à la manipulation des batteries galvaniques, c'est-à-dire à un travail tout à fait nouveau pour lui et qui demande beaucoup de soin et de régularité. Malgré les témoignages de satisfaction dont l'empereur a honoré mes efforts, je reconnais sans peine que mon travail devra encore, sinon dans son ensemble, du moins dans ses détails, recevoir plusieurs modifications ou améliorations.

Le télégraphe qui a été construit l'an dernier pour Tsarsko-Sélo, est exactement semblable à celui que je viens de décrire. Mais il a fallu y introduire un principe dont l'importance m'oblige à en dire quelques mots. Vous comprenez aisément que les mécanismes qui sont destinés à exécuter les opérations dont j'ai parlé, quoique fabriqués avec le plus grand soin et sous mes yeux, exigent, pour être mis en jeu, une force assez considérable et un courant galvanique d'une énergie correspondante. Or, d'après les lois du galvanisme, la force du courant, transmise à de grandes distances, diminue considérablement, non-seulement par l'effet de la longueur des conducteurs, mais encore par d'autres causes. Il faudrait, par conséquent, augmenter considérablement la force des batteries pour exécuter à de grandes distances les mêmes opérations qui n'exigent que de faibles moyens pour des distances peu considérables ; ou bien, pour dire la chose sous une meilleure forme : *plus un appareil télégraphique est délicat, plus est grande la distance*

à laquelle il peut agir. La circonstance la plus remarquable qui distingue le courant galvanique de tout autre agent, c'est, selon moi, qu'on peut par son moyen transmettre à des distances presque infinies une force mécanique même peu considérable.

Supposez maintenant que l'appareil télégraphique proprement dit soit complétement séparé du conducteur, mais que, d'ailleurs, on l'ait disposé de façon qu'il puisse être mis en relation avec une batterie placée dans son voisinage. Cette batterie, par suite de son rapprochement, pourra ne se composer que d'un petit nombre d'éléments, et pourtant fournir une force considérable dès que la communication sera établie. Notre tâche se réduit donc, non pas à mettre *immédiatement* en mouvement, à une grande distance, l'appareil télégraphique même, mais uniquement à établir temporairement la communication dont j'ai parlé entre la petite batterie et le télégraphe, en d'autres termes, à plonger dans une capsule de mercure un fil disposé d'une certaine façon. Il suffit pour cela d'une force mécanique médiocre et d'une force de courant tout aussi peu considérable. Ainsi l'addition d'un appareil et d'une batterie secondaires a, dans le fait, simplifié notre tâche. Mais on aura peine à croire que la mise à exécution de cette tâche en apparence si simple ait présenté un masse de circonstances inattendues et des difficultés très-graves, dont on n'a pu triompher qu'après bien des expériences.

J'ai joint des appareils secondaires au système de conducteurs télégraphiques de cette ville (Pétersbourg), principalement dans le but de m'assurer que, quel que soit l'intervalle de temps pendant lequel ils servent, leur action demeure régulière. Les avantages de cette disposition se feront surtout apprécier quand il s'agira d'établir des lignes électro-télégraphiques sur une grande échelle. Sans doute on aura encore besoin de stations intermédiaires, mais en nombre beaucoup moindre que pour les télégraphes optiques. Leur caractère sera aussi tout autre. Avec les télégraphes actuels, chaque signe doit être

reçu, noté et transmis par un employé. Avec les nouveaux la transmission s'opère sans l'aide de personne, par les appareils mêmes, et il n'est besoin de rien autre que de surveiller les batteries placées aux stations intermédiaires. — Un autre avantage de ces appareils secondaires, avantage qui prendra peut-être une grande importance dans l'avenir, c'est qu'à leur aide on peut augmenter l'activité des mécanismes les plus divers. Par exemple, il n'y aurait presque pas de difficulté à faire sonner de grosses cloches avec leurs gros marteaux, à plusieurs milles de distance. Enfin j'ajouterai, pour dissiper les doutes qui pourraient encore exister, que, s'il est bien disposé, ce second appareil ne retarde point la transmission des signes, et que, pour l'ordinaire, les deux opérations présentent à l'observateur une parfaite coïncidence. Mais je ne cacherai point, que ce n'est qu'après un grand nombre de modifications que j'ai réussi à conserver, sur la ligne de Tsarsko-Sélo, la même rapidité qui avait été observée jusqu'à présent dans la transmission des dépêches.

Avec le télégraphe dont je viens de parler, la notation des signes se fait au moyen d'un mouvement ascendant et descendant. On peut, par des procédés mécaniques, transformer ce mouvement en mouvement circulaire pour faire tourner un disque ou une aiguille. Ce principe peut servir lui-même à fonder un système télégraphique particulier que je vais avoir l'honneur de vous exposer. En aimantant par alternatives un fer à cheval et lui faisant attirer son armure, on peut à chacune de ces opérations faire avancer d'une dent la marche d'une roue construite avec un peu d'art, portant sur son axe un cadran, au moyen de laquelle les lettres ou chiffres tracés sur le cadran passent successivement devant les yeux, et peuvent ainsi être notés d'après un mode convenu. Malgré la complication qui en résultait, j'ai jugé convenable d'ajouter encore un système particulier de signes perceptibles à l'oreille et qui étaient transmis par des coups de cloche. Comme l'appareil est arrangé de fa-

çon qu'il peut à volonté donner des coups de cloche ou indiquer des nombres, et qu'on peut combiner ensemble les deux espèces de signaux, il en résulte une grande variété et un grand nombre de signes. On a aussi construit, en Angleterre, des télégraphes de ce genre, mais avec un système simple ; cependant on y a ajouté un appareil d'impression, afin de pouvoir imprimer aussitôt les dépêches données, à un seul exemplaire il est vrai. Cet appareil, selon moi, est plus ingénieux qu'utile, et en général on peut regarder comme illusoires les avantages des télégraphes de ce genre qui ont des signaux pour tous les caractères de l'alphabet, et dont on s'est disputé bien inutilement, en Angleterre, le mérite de l'invention. On ne réfléchit pas, en effet, que, pour passer d'un signe à un autre, il faut parcourir tous ceux qui les séparent, c'est-à-dire, par conséquent, qu'il faut faire un tour entier du cadran pour répéter deux lettres ou deux nombres l'un après l'autre. Ainsi les signes ne sont pas indépendants les uns des autres, et ils ont une importance relative diverse, d'où résulte, au reste, un problème très-intéressant d'analyse combinée, que Mr. Buniakowski, notre confrère, a résolu d'une manière élégante, et a publié dans les mémoires de l'Académie.

Dans plusieurs expériences magnéto-électriques, il est nécessaire de pouvoir fermer et ouvrir rapidement, plusieurs fois de suite, la pile galvanique. Mr. le doct. Neef de Francfort S/M, qui a fait usage des courants magnétiques comme moyen thérapeutique actif, avait imaginé un appareil très ingénieux pour exécuter cette double opération sans le secours de la main. Après avoir déjà antérieurement fait usage de ce principe dans plusieurs expériences, j'ai reconnu depuis peu qu'en le modifiant de diverses manières, on peut obtenir un télégraphe acoustique, remarquable par sa délicatesse, sa simplicité et par la commodité de son emploi. En effet, il est beaucoup de cas, en particulier dans les opérations militaires, où l'on renonce volontiers aux avantages des signes autographiques, pour avoir un

télégraphe aisément transportable et sûr, quand surtout il ne demande que des forces galvaniques peu considérables pour être mis en activité. Devant avoir l'honneur de vous faire voir cet appareil et de le faire manœuvrer devant vous, je ne vous en donnerai pas la description. Je me contenterai de faire remarquer que, outre la facilité avec laquelle on les produit, les signes acoustiques de cette espèce ont encore sur ceux qu'on obtient en frappant sur une cloche l'avantage de pouvoir être répétés avec plus de rapidité, soutenus à volonté, et enfin combinés en mélodies, monotones et peu agréables, il est vrai, mais qui présentent comme signaux quelque utilité pratique.

Avant de terminer, je prendrai la liberté de vous entretenir, pendant quelques minutes seulement, de l'instrument sur lequel repose toute transmission électro-télégraphique, du système de conducteurs galvaniques destinés à réunir les deux stations. — Tous les physiciens qui ont été appelés à établir des télégraphes électriques, s'accordent à reconnaître que la partie la plus difficile du problème consiste à établir ce système de conducteurs. On avait d'abord regardé la chose comme très-facile. En effet, dans les premiers essais faits sur une petite échelle, et parmi lesquels on doit sans aucun doute mettre en première ligne ceux du baron Schilling de Canstadt, pour leur étendue et leur bonne construction, les difficultés inhérentes à la nature même de ces appareils ne pouvaient pas se faire sentir, comme elles l'ont été plus tard lorsque Steinheil et Wheatstone ont commencé à établir des lignes télégraphiques plus étendues. L'action des conducteurs secondaires naturels que l'humidité environnante déterminait naturellement, a rendu nécessaires des précautions auxquelles on n'avait pas pu songer d'abord, vu que les notions un peu vagues de conducteurs, de demi-conducteurs, et de non-conducteurs n'avaient pas encore pu recevoir de l'expérience leur entière confirmation. D'après la description que Steinheil a donnée de son télégraphe magnéto-électrique, on sait que, quoique ce savant eût fait passer ses

fils conducteurs en plein air sur de hauts supports de bois, on apercevait l'existence de conducteurs secondaires par des effets de courant qui avaient lieu à l'une des stations, tandis qu'à l'autre la communication métallique n'existait plus. Wheatstone, après avoir renfermé dans des tubes de fer fondu des fils conducteurs bien isolés, et les avoir fait cheminer au-dessus du sol et en quelques endroits au-dessous, vit se produire les mêmes phénomènes, et avec une intensité si grande qu'il fut forcé, ainsi que je l'ai dit, de renoncer à son premier projet de télégraphe électro-magnétique.

Les difficultés en question s'accroissent encore, si l'on veut que le système présente un avantage bien grand, mais en quelque sorte nécessaire, et dont la réalisation était imposée par ordre supérieur à l'établissement qui existe ici, savoir que les cod ucteurs galvaniques cheminent au-dessous du sol, sur toute leur étendue ; et ces difficultés deviennent plus grandes encore quand il faut lutter contre des obstacles tenant au climat, à la nature géologique du sol ou à quelque autre circonstance locale. Steinheil a déclaré positivement qu'il était impossible de faire cheminer sous le sol à de grandes distances des conducteurs galvaniques. Dès que ces conducteurs doivent être établis sous le sol, on regarde comme indispensable de les enfermer dans un tube, non-seulement parce que c'est le seul moyen de les isoler complétement, mais encore parce que s'ils viennent à éprouver quelque accident, il est plus facile de les atteindre. Quand, dans l'automne de 1841, on fit pour la première fois passer à travers la place de l'Amirauté des fils qui n'étaient pas enfermés librement dans des tubes, mais lutés dans des espèces de fourres plates de tôle, on eut lieu de se convaincre des inconvénients de ce système. La difficulté de se procurer des tubes métalliques, et la crainte que ces tubes ne rendissent plus nombreuses et plus dangereuses les chances de jonctions secondaires, m'engagèrent, lorsque l'année suivante je fis établir des conducteurs du Palais d'hiver à l'Hôtel du Ministère des bâ

timents publics, à me servir de tubes de verre, quoique cette substance n'eût jamais encore été employée à cet usage, et que par conséquent je ne pusse m'appuyer sur aucune expérience.

Cependant, pendant tout le cours de l'hiver précédent, j'avais cherché d'autres procédés d'isolement qui pussent préserver suffisamment les fils des effets de l'humidité quand on les conduit sous terre, et j'avais réussi enfin à trouver dans le caoutchouc une substance qui remplissait parfaitement mon idée, moyennant certaines conditions et une préparation particulière. J'ai pu ainsi, dans l'établissement des conducteurs de la ligne de Tsarsko-Sélo, laisser de côté le système des tubes de verre, dans lequel l'emploi du caoutchouc était d'ailleurs nécessaire pour donner de la mobilité aux différentes parties du système conducteur; en outre, l'emploi de cette substance pour recouvrir les fils a réduit la dépense de l'établissement des conducteurs à moins du tiers de ce qu'elle a été en Angleterre pour les lignes électro-télégraphiques qui accompagnent le chemin de fer Great-Western. Ne voulant pas vous fatiguer par plus de détails, je me contenterai de mentionner l'examen scrupuleux que j'ai fait moi-même, d'après une méthode particulière, d'environ 25 000 brasses de fil, qui ont pu heureusement être fabriquées ici. Cet examen, l'un des travaux les plus désespérément ennuyeux que présente la physique appliquée, m'a fait connaître, par ma propre expérience, toute l'échelle des décharges galvaniques, depuis les sensations les plus légères et presque inaperçues jusqu'aux secousses les plus violentes accompagnées de convulsion.

On sait que, il y a déjà plus de trente ans, des expériences démontrèrent que le courant galvanique d'une pile voltaïque formée d'un grand nombre d'éléments pouvait se transmettre à travers des colonnes d'eau faisant partie d'un circuit qui était isolé dans tout le reste de son étendue. Dans l'automne de 1812 j'eus, pour la première fois, l'occasion de faire une ex-

périence de ce genre dans le golfe de Finlande, près d'Oranienbaum, sur une étendue de 800 brasses. Cette expérience fut répétée en mars 1843, à Petrowski, sur une plus grande échelle : un fil conducteur fut conduit sur la glace à la distance de 9 verstes, et l'eau au-dessous de la glace fut prise pour la seconde moitié du circuit. Cette expérience réussit complétement, et donna lieu en même temps à un spectacle capable de frapper l'imagination la moins active. Supposez-vous sur le pont qui sépare Petrowski et Krestowski, ayant un fil dans la main et le regard dirigé vers le golfe de Finlande. Au même moment où vous mettez, à travers une ouverture faite dans la glace, l'extrémité du fil en contact avec la surface de l'eau mise à découvert, vous voyez, à une grande distance vers l'horizon, briller un éclair et s'élever un tourbillon de fumée, puis vous entendez le roulement du tonnerre produit par cette explosion instantanée de la poudre due à l'étincelle galvanique.

Mais le sol humide peut, aussi bien que l'eau, servir de conducteur pour les plus grandes distances ; les expériences positives, faites sur la ligne de Tsarsko-Sélo, l'ont enfin complétement démontré, ainsi que la possibilité pratique de se passer entièrement d'une des moitiés du circuit, et de confier à la terre, notre mère nourricière, l'autre moitié du service télégraphique. Qu'éprouve-t-elle à ces nouvelles douleurs que nous lui faisons subir ? Je ne puis dans ce moment répondre à cette question, parce qu'en vérité il m'est impossible de me faire une juste idée de ce qui se passe réellement dans ce merveilleux phénomène.

ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES. (Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*), par MM. DE LA RIVE, MARIGNAC et PICTET, professeurs à l'Académie de Genève.

Après 40 années d'existence, d'abord sous le titre de *Bibliothèque Britannique*, plus tard sous celui de *Bibliothèque Universelle*, la publication périodique fondée à Genève en 1795, par MM. M.-A. Pictet, Ch. Pictet et Maurice, commença une nouvelle série avec l'année 1836. La division en deux parties, l'une littéraire, l'autre scientifique, qui avait subsisté jusqu'alors, fut supprimée, et le journal embrassa dans le même cadre tout ce qui fait partie du domaine des connaissances humaines. Cependant il fut bientôt facile d'apercevoir que la vaste étendue du champ assigné à la *Bibliothèque Universelle* devait nécessairement en exclure, ou tout au moins réduire à des proportions très-minimes, les parties consacrées à des branches scientifiques spéciales. Dans le but de remédier à cet inconvénient, je publiai, sous le titre d'*Archives de l'Electricité*, un supplément à la *Bibliothèque Universelle*. Cette publication, commencée en 1841, et qui vient d'achever sa cinquième année, a bien atteint le but que je m'étais proposé, du moins pour ce qui concerne l'électricité et les nombreuses parties des sciences physiques qui s'y rattachent. Mais le succès même qu'a obtenu cette addition à la Bibliothèque Universelle, m'a démontré que ce que j'avais fait pour l'électricité, il y aurait avantage à le faire pour les autres parties des sciences physiques, et qu'en élargissant le cadre des Archives on pourrait satisfaire dans une plus ample mesure aux besoins scientifiques de l'époque,

sans nuire en même temps aux exigences des branches spéciales. C'est dans ce but que deux de mes confrères à l'Académie de Genève, connus par des travaux importants, MM. Marignac, professeur de chimie, et Pictet, professeur de zoologie et d'anatomie comparée, ont bien voulu se joindre à moi pour publier en commun les *Archives des Sciences physiques et naturelles*.

Sous ce titre nous ferons paraître chaque mois, comme Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*, un cahier de 100 pages environ, renfermant sous forme d'extraits ou dans leur entier, suivant leur nature, les travaux qui se font journellement dans les divers pays, sur la physique, la chimie et les parties les plus importantes de l'histoire naturelle. Chaque cahier contiendra en outre, sous le titre de Bulletin scientifique, une série de petits articles destinés à tenir les lecteurs au courant de la marche des sciences physiques et naturelles. Les tableaux des Observations météorologiques qui sont faites à l'observatoire de Genève et au Grand Saint-Bernard, seront également insérés mensuellement dans les Archives. Indépendamment de quelques améliorations de détail, ces tableaux seront enrichis désormais par la publication régulière des résultats des observations magnétiques qui se font à l'observatoire magnétique de Genève.

Les trois rédacteurs des *Archives des Sciences physiques et naturelles* n'auraient pas songé à se charger de la responsabilité de la publication qu'ils vont commencer, s'ils ne s'étaient pas assuré la coopération de ceux de leurs compatriotes qui sont, comme eux, voués à l'étude des mêmes sciences. MM. Edmond Boissier, De Candolle, Favre, Gautier, Macaire, Emile Plantamour, Philippe Plantamour, Alexandre Prevost, Elie Wartmann professeur à Lausanne ont bien voulu consentir à être leurs collaborateurs. Ils ont aussi l'avantage de pouvoir compter sur des communications venant de savants étrangers avec lesquels ils sont en relation d'amitié. C'est dans l'emploi

de toutes ces ressources qu'ils espèrent trouver le moyen de donner au recueil périodique dont ils prennent la direction, un intérêt qui le rende digne de rivaliser avec les publications semblables qui se font aujourd'hui dans le monde savant.

Les *Archives des Sciences physiques et naturelles,* quoique publiées comme Supplément à la *Bibliothèque Universelle de Genève*, en seront cependant distinctes comme l'étaient les *Archives de l'Electricité*. Elles commenceront avec janvier 1846, en même temps que commencera une nouvelle soit quatrième série de la *Bibliothèque Universelle*, dont elles seront un supplément d'autant plus nécessaire que la Bibliothèque Universelle renoncera complétement à s'occuper des parties spéciales des sciences physiques. Destinée essentiellement à tenir ses lecteurs au courant de la marche des sciences sociales et morales et de l'état de la littérature, la Bibliothèque Universelle ne peut embrasser dans son cadre que les sujets d'un intérêt général; à ce titre les sciences physiques et naturelles y auront toujours une place, comme les autres parties des connaissances humaines, mais ce sera une place modeste et de nature à satisfaire seulement les hommes qui, sans être voués à leur étude, tiennent cependant à ne pas rester complétement étrangers à leur histoire. Ceux qui veulent davantage, soit qu'ils cultivent eux-mêmes les sciences physiques et naturelles, soit qu'ils s'y intéressent assez pour aimer à en suivre le développement dans ses diverses phases, trouveront dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles*, ce que ne leur offrait pas précédemment, dans une proportion suffisante, la *Bibliothèque Universelle*, et ce qu'elle ne leur offrira plus désormais.

Le prix de l'abonnement pour la *Bibliothèque Universelle* avec son Supplément, restera le même qu'il était pour la *Bibliothèque Universelle,* quoique chaque cahier doive renfermer à l'avenir trois feuilles d'impression de plus. On pourra s'abonner séparément, mais à un prix moindre, pour la *Biblio-*

thèque Universelle sans le Supplément, et pour le Supplément seul, formant les *Archives des Sciences physiques et naturelles*.

Le rédacteur des *Archives de l'Electricité*,

A. DE LA RIVE.

Genève, le 15 *janvier* 1846.

NB. Le premier cahier des *Archives des Sciences physiques et naturelles* paraîtra le 15 février 1846, en même temps que le premier cahier de la quatrième série de la BIBLIOTHÈQUE UNIVERSELLE.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE TOME V.

(Année 1845 ; nos 17 — 20.)

Numéro 17.

aux Abonnés de la *Bibl. Univ*. pour 1845.

pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à . chacune, et les années 1841 à 1844 pour 32 fr. chacune, *non com- les frais de port.*

AVIS.

Les quatre premiers volumes des *Archives de l'Électricité* nnées 1841 à 1844) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

Avis aux Abonnés de la *Bibl. Univ.* pour 1845.

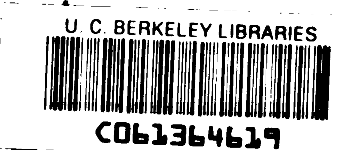
Ils pourront se procurer les années 1836 à 1840 réunies (1re à 5me de la nouvelle série) pour le prix total de 100 francs, ou, séparées, à 30 fr. chacune, et les années 1841 à 1844 pour 32 fr. chacune, *non compris les frais de port.*

AVIS.

Les quatre premiers volumes des *Archives de l'Électricité* (années 1841 à 1844) se vendent chacun :

10 francs pour Genève.
12 — pour Paris et l'étranger (*franc de port*)

TABLE DES MATIÈRES.


U. C. BERKELEY LIBRARIES
C061364619

